



UNIVERSIDAD DE  
COSTA RICA



LABORATORIO NACIONAL  
DE MATERIALES Y MODELOS ESTRUCTURALES

## Programa de Infraestructura del Transporte PITRA

Informe: EIC-Lanamme-INF-0140-2021

# **Informe de Evaluación del Proyecto San José – Caldera Ruta Nacional 27 Años 2020 – 2021**

Informe Borrador

Preparado por:

Unidad de Gestión y Evaluación de la Red Vial Nacional  
LanammeUCR

San José, Costa Rica

Noviembre, 2021



<b>1. Informe</b> EIC-Lanamme-INF-0140-2021		<b>2. Copia No.1</b>		
<b>3. Título</b> Informe de Evaluación del Proyecto San José – Caldera Ruta Nacional 27, Años 2020 – 2021		<b>4. Fecha del Informe</b> Noviembre 2021		
<b>5. Organización y dirección</b> Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales Universidad de Costa Rica, Ciudad Universitaria Rodrigo Facio San Pedro de Montes de Oca, Costa Rica Tel: (506) 2511-2500 / Fax: (506) 2511-4440				
<b>6. Notas complementarias</b> No aplica				
<b>7. Resumen</b> <i>El presente informe muestra los resultados del trabajo de evaluación de la Ruta Nacional 27 Carretera San José – Caldera, el cual es administrado bajo la modalidad de Concesión de Obra Pública. Este estudio se hace con base en los postulados del Artículo 6 Inciso D de la Ley 8114, el cual otorga al LanammeUCR la competencia de evaluar “de manera anual las carreteras y puentes en concesión”. Con base en esto, se realiza una evaluación del estado de la ruta y sus cuatro radiales en parámetros funcionales, estructurales, de mantenimiento y de seguridad vial, tanto de la carretera como de las obras afines a la misma, como cunetas, taludes y terraplenes aledaños. Los resultados obtenidos se comparan con aquellos de las campañas anteriores, y toda la información pasa a formar parte de la base de datos digital del proyecto incorporándose ya como un punto más en la curva de tendencia del comportamiento del pavimento.</i>				
<b>8. Palabras clave</b> Ruta 27, taludes, pavimentos, gestión, deslizamientos, deterioros, PSI, modelos		<b>9. Nivel de seguridad:</b> Alto		<b>10. Núm. de páginas</b> 252
<b>11. Ejecución de Evaluación del Proyecto:</b>				
<b>Líder: Ing. Cristian Valverde C. M.Sc. PMP® UGERVN</b>  Firmado digitalmente por CRISTIAN VALVERDE CORDERO (FIRMA) Fecha: 2021.11.03 10:08:02 -06'00' <b>Fecha:</b> Noviembre, 2021	<b>Especialista: Ing. José Francisco Garro M., M.Sc. PMP® UGERVN</b>  Firmado digitalmente por JOSE FRANCISCO GARRO MORA (FIRMA) Fecha: 2021.11.03 11:54:42 -06'00' <b>Fecha:</b> Noviembre, 2021	<b>Especialista: Geólogo Paulo Ruiz C., Ph.D. UGERVN</b>  Firmado digitalmente por PAULO RUIZ CUBILLO (FIRMA) Fecha: 2021.11.03 11:19:52 -06'00' <b>Fecha:</b> Noviembre, 2021	<b>Especialista: Ing. Ronald Naranjo Umaña, PMP® UGERVN</b>  Firmado digitalmente por RONALD NARANJO UREÑA (FIRMA) Fecha: 2021.11.03 10:27:21 -06'00' <b>Fecha:</b> Noviembre, 2021	<b>Especialista: Ing. Stephan Rodríguez Shum, M.Sc. USVT</b>  Firmado digitalmente por STEPHAN RODRIGUEZ SHUM (FIRMA) Fecha: 2021.11.03 10:30:08 -06'00' <b>Fecha:</b> Noviembre, 2021
<b>12. Coordinación de Evaluación de Proyecto:</b>  Ing. Roy Barrantes Jiménez M.Sc. PMP® Coordinador UGERVN  Firmado digitalmente por ROY BARRANTES JIMENEZ (FIRMA) Fecha: 2021.11.03 10:13:55 -06'00' <b>Fecha:</b> Noviembre, 2021	<b>13. Revisado por:</b>  Ing. Javier Zamora Rojas M.Sc. Coordinador USVT  Firmado digitalmente por JAVIER ZAMORA ROJAS (FIRMA) Fecha: 2021.11.03 12:20:59 -06'00' <b>Fecha:</b> Noviembre, 2021	<b>14. Revisado por</b>  Ing. Ana Lorena Monge Sandí, M.Sc. Coordinación Programa Ingeniería Geotécnica:  Firmado digitalmente por ANA LORENA MONGE SANDI (FIRMA) Fecha: 2021.11.03 13:38:44 -06'00' <b>Fecha:</b> Noviembre, 2021	<b>14. Revisado Legal:</b>  Licda. Nidia Segura J. Asesora Legal  <b>Fecha:</b> Noviembre, 2021	<b>15. Revisado y aprobado por:</b>  Ing. Ana Luisa Elizondo Salas MSc. Coordinadora PITRA  Firmado digitalmente por ANA LUISA ELIZONDO SALAS (FIRMA) Fecha: 2021.11.03 16:01:11 -06'00' <b>Fecha:</b> Noviembre, 2021





## TABLA DE CONTENIDOS

RESUMEN .....	13
RECONOCIMIENTO .....	14
<b>1 INTRODUCCIÓN Y ANTECEDENTES.....</b>	<b>15</b>
<b>2 LIMITACIONES EN EL PROCESO DE EVALUACIÓN DE OBRAS GEOLÓGICAS Y GEOTÉCNICAS .....</b>	<b>19</b>
<b>3 OBJETIVOS DE LA EVALUACIÓN DEL PROYECTO EN CONCESIÓN SAN JOSÉ – CALDERA, AÑOS 2020 - 2021 20</b>	
3.1 OBJETIVO GENERAL.....	20
3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	20
<b>4 RESULTADOS OBTENIDOS DE LA EVALUACIÓN, AÑOS 2020 – 2021.....</b>	<b>21</b>
4.1 CAPACIDAD ESTRUCTURAL, DEFLEXIONES OBTENIDAS MEDIANTE EL FWD, TRONCAL PRINCIPAL .....	21
4.1.1 <i>Equipo utilizado y criterios de clasificación .....</i>	<i>21</i>
4.1.2 <i>Resultados obtenidos, mes de septiembre del 2020.....</i>	<i>21</i>
4.1.3 <i>Análisis general de resultados de la evaluación de la capacidad estructural con el ensayo de deflectometría .....</i>	<i>25</i>
4.2 CAPACIDAD FUNCIONAL, CONDICIÓN SEGÚN REGULARIDAD SUPERFICIAL (IRI), TRONCAL PRINCIPAL.....	25
4.2.1 <i>Equipo utilizado y criterios de clasificación .....</i>	<i>25</i>
4.2.2 <i>Resultados del Índice de Regularidad Internacional (IRI) .....</i>	<i>26</i>
4.2.3 <i>Análisis general de resultados de la evaluación de la capacidad funcional con el Perfilómetro Láser. 29</i>	<i>29</i>
4.3 RESULTADOS OBTENIDOS DEL COEFICIENTE DE ROZAMIENTO DE PAVIMENTOS, TRONCAL PRINCIPAL .....	29
4.3.1 <i>Equipo utilizado y criterios de clasificación .....</i>	<i>29</i>
4.3.2 <i>Resultados de coeficiente de rozamiento con el GripTester y MuMeter .....</i>	<i>31</i>
4.3.3 <i>Análisis general de resultados de la evaluación de la resistencia al deslizamiento.....</i>	<i>35</i>
4.4 ANÁLISIS DE NOTAS DE CALIDAD Q, TRONCAL PRINCIPAL, AÑOS 2020 – 2021 .....	37
4.5 COMPARACIÓN DE INDICADORES EN LA TRONCAL PRINCIPAL, AÑOS 2012 AL 2020.....	44
4.5.1 <i>Evaluación con el Deflectómetro de Impacto .....</i>	<i>44</i>
4.5.2 <i>Evaluación con el Perfilómetro Láser.....</i>	<i>46</i>
4.5.3 <i>Evaluación con el medidor del coeficiente de rozamiento superficial .....</i>	<i>47</i>
4.6 COMPARACIÓN DE LAS NOTAS Q OBTENIDAS PARA LA RUTA 27, AÑOS 2012 AL 2020 .....	48
4.7 ANÁLISIS DE LA CONDICIÓN SUPERFICIAL. EVALUACIONES REALIZADAS EN SETIEMBRE 2020 .....	52
4.7.1 <i>Equipo utilizado y criterios de clasificación .....</i>	<i>52</i>
4.7.2 <i>Resumen de resultados de la evaluación visual de deterioros superficiales.....</i>	<i>52</i>
4.7.3 <i>Comparación de resultados entre los años 2014 - 2020 de la evaluación visual de deterioros superficiales. ....</i>	<i>55</i>
<b>5 EVALUACIÓN DE LAS RADIALES .....</b>	<b>60</b>
5.1 ASPECTOS GENERALES .....	60
5.2 RESULTADOS OBTENIDOS: CAPACIDAD ESTRUCTURAL.....	61
5.3 RESULTADOS OBTENIDOS: CONDICIÓN FUNCIONAL .....	62
5.4 RESULTADOS OBTENIDOS: COEFICIENTE DE FRICCIÓN .....	62
5.5 NOTAS DE CALIDAD Q PARA LAS RADIALES .....	64
5.6 RESULTADOS OBTENIDOS: ANÁLISIS DE DETERIOROS SUPERFICIALES .....	65
5.7 COMPARACIÓN DE LA CONDICIÓN DE LAS RADIALES, CAMPAÑAS 2013 – 2020 .....	66
5.7.1 <i>Evaluación con el deflectómetro de impacto.....</i>	<i>66</i>



5.7.2	<i>Evaluación con el perfilómetro láser superficial</i> .....	71
5.7.3	<i>Evaluación con el medidor del coeficiente de rozamiento superficial</i> .....	76
5.7.4	<i>Evaluación visual de Deterioro Superficial</i> .....	82
<b>6</b>	<b>MODELOS DE DETERIORO</b> .....	<b>85</b>
6.1	APLICACIÓN DEL MODELO DE DETERIORO .....	85
6.2	ANÁLISIS DE RESULTADOS .....	90
<b>7</b>	<b>CONDICIONES GEOTÉNICAS Y SISTEMAS DE DRENAJE</b> .....	<b>92</b>
7.1	EVALUACIÓN TALUD EN PK 37+500.....	94
7.2	EVALUACIÓN TALUD EN PK 38+600.....	97
7.3	EVALUACIÓN TALUD EN PK 40+800.....	101
7.4	EVALUACIÓN TALUD EN PK 44+500.....	102
7.5	EVALUACIÓN TALUD EN PK 75+900.....	105
<b>8</b>	<b>EVALUACIÓN DE SEGURIDAD VIAL Y MOVILIDAD</b> .....	<b>108</b>
8.1	GENERALIDADES .....	108
8.1.1	<i>Tramos homogéneos</i> .....	108
8.1.2	<i>Evaluación del señalamiento vial y sistemas de contención vehicular</i> .....	108
8.1.3	<i>Identificación de puentes peatonales e infraestructura de transporte público</i> .....	112
8.1.4	<i>Choques viales</i> .....	112
8.2	EVALUACIÓN DEL SEÑALAMIENTO VIAL .....	114
8.2.1	<i>Señales verticales: Ruta Nacional 27</i> .....	114
8.2.2	<i>Señales verticales: Radiales</i> .....	118
8.2.3	<i>Demarcación horizontal: Ruta Nacional 27</i> .....	123
8.2.4	<i>Demarcación horizontal: Radiales</i> .....	127
8.3	EVALUACIÓN DE SISTEMAS DE CONTENCIÓN VEHICULAR .....	130
8.3.1	<i>Ruta Nacional 27</i> .....	130
8.3.2	<i>Radiales</i> .....	136
8.4	ANÁLISIS DE CHOQUES VIALES .....	141
8.4.1	<i>Generalidades</i> .....	141
8.4.2	<i>Evaluación de segmentos con ocurrencia de atropellos</i> .....	143
8.4.3	<i>Evaluación de tramos de concentración de choques viales</i> .....	152
8.5	OBSERVACIONES COMPLEMENTARIAS.....	170
8.5.1	<i>Movilidad segura e inclusiva</i> .....	170
8.5.2	<i>Seguridad vial</i> .....	173
8.5.3	<i>Geometría</i> .....	176
<b>9</b>	<b>CONCLUSIONES</b> .....	<b>178</b>
9.1	CONCLUSIÓN GENERAL .....	178
9.2	CONCLUSIONES ESPECÍFICAS.....	181
9.2.1	<i>Sobre acceso a la información técnica del corredor vial ruta 27.</i> .....	181
9.2.2	<i>Sobre la condición estructural</i> .....	181
9.2.3	<i>Sobre la condición funcional</i> .....	181
9.2.4	<i>Sobre la resistencia al deslizamiento</i> .....	181
9.2.5	<i>Sobre los deterioros superficiales de la mezcla asfáltica</i> .....	182
9.2.6	<i>Sobre las notas de calidad y las estrategias de intervención</i> .....	182
9.2.7	<i>Sobre los Modelos de Deterioro</i> .....	183
9.2.8	<i>Sobre las condiciones geotécnicas y sistemas de drenaje</i> .....	183
9.2.9	<i>Sobre los márgenes y sistemas de contención vehicular</i> .....	183



9.2.10 *Sobre la movilidad y seguridad vial*..... 184

**10 RECOMENDACIONES** ..... **188**

10.1.1 *Sobre la evaluación funcional, estructural, resistencia al deslizamiento y de deterioro superficial del proyecto*..... 188

10.1.2 *Sobre la evaluación de las radiales*..... 188

10.1.3 *Sobre el estado de los taludes y terraplenes adyacentes a la ruta*..... 188

10.1.4 *Sobre condiciones geométricas del trazado del proyecto* ..... 189

10.1.5 *Sobre la demarcación horizontal y señalamiento vertical*..... 189

10.1.6 *Sobre los márgenes y sistemas de contención vehicular*..... 189

10.1.7 *Sobre la movilidad en general* ..... 191

10.1.8 *Sobre los tramos con presencia de atropellos y concentración de choques viales*..... 191

**11 BIBLIOGRAFÍA** ..... **195**

**ANEXO I: RESULTADOS OBTENIDOS CON EL DEFLECTÓMETRO DE IMPACTO**..... **200**

**ANEXO II: RESULTADOS OBTENIDOS PERFILÓMETRO LÁSER**..... **205**

**ANEXO III: RESULTADOS OBTENIDOS MEDIDOR DE AGARRE SUPERFICIAL**..... **210**

**ANEXO IV: RESULTADOS OBTENIDOS NOTAS DE CALIDAD Q** ..... **219**

**ANEXO V RESULTADOS OBTENIDOS PARA CADA UNO DE LOS PARÁMETROS EVALUADOS EN LAS RADIALES**  
**224**

**ANEXO VI MODELO DE DETERIORO PARA LA RUTA NACIONAL 27 SAN JOSÉ – CALDERA** ..... **244**



## ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1: DIAGRAMA DE LA EVALUACIÓN DEL PROYECTO SAN JOSÉ – CALDERA RUTA 27, AÑOS 2020 – 2021 .....	16
FIGURA 2. ESTADO GENERAL DE LA CAPACIDAD ESTRUCTURAL POR MEDIO DE DEFLEXIONES EN SENTIDO SAN JOSÉ – CALDERA, CAMPAÑA 2020 – 2021 .....	22
FIGURA 3. UBICACIÓN DE ALGUNOS TRAMOS CON DEFLEXIONES MODERADOS Y ALTAS, SENTIDO SAN JOSÉ - CALDERA. ....	23
FIGURA 4. ESTADO GENERAL DE LA CAPACIDAD ESTRUCTURAL SENTIDO CALDERA – SAN JOSÉ, SEGÚN LOS VALORES DE DEFLEXIÓN FWD OBTENIDOS, CAMPAÑA 2020 – 2021.....	24
FIGURA 5. UBICACIÓN DE ALGUNOS TRAMOS CON DEFLEXIONES ALTAS, SENTIDO CALDERA – SAN JOSÉ. ....	24
FIGURA 6. RESULTADOS OBTENIDOS EN EL PARÁMETRO IRI, SENTIDO SAN JOSÉ – CALDERA .....	27
FIGURA 7. RESULTADOS OBTENIDOS EN EL PARÁMETRO IRI, SENTIDO CALDERA – SAN JOSÉ .....	27
FIGURA 8. UBICACIÓN DE TRAMOS CON UN IRI ENTRE MODERADO Y BAJO. ....	28
FIGURA 9. GRIP TESTER .....	29
FIGURA 10. MU METER .....	30
FIGURA 11. RESULTADOS DE LAS PRUEBAS DE A) GRIP TESTER Y B) MUMETER. ....	32
FIGURA 12. RESULTADOS DE LAS PRUEBAS DE A) GRIP TESTER Y B) MU METER. ....	33
FIGURA 13. UBICACIÓN DE TRAMOS CON VALORES DE FRICCIÓN DE POCO DESLIZANTE A MUY DESLIZANTE.....	34
FIGURA 14. UBICACIÓN DE TRAMOS CON VALORES DE FRICCIÓN QUE CUMPLEN O INCUMPLEN CON EL CONTRATO. ....	36
FIGURA 15. DISTRIBUCIÓN DE LAS NOTAS DE CALIDAD Q PARA LA TRONCAL PRINCIPAL. A) SAN JOSÉ – CALDERA, B) CALDERA – SAN JOSÉ .....	37
FIGURA 16. AGRUPACIÓN DE LAS NOTAS DE CALIDAD PARA DEFINICIÓN DE ESTRATEGIAS GENERALES DE INTERVENCIÓN .....	40
FIGURA 17.: DISTRIBUCIÓN DE LAS NOTAS DE CALIDAD Q PARA LA TRONCAL PRINCIPAL. A) SAN JOSÉ – CALDERA, B) CALDERA – SAN JOSÉ .....	41
FIGURA 18. UBICACIÓN DE TRAMOS CON NOTAS DE CALIDAD ENTRE Q1 – Q6, Y R1. ....	42
FIGURA 19: DISTRIBUCIÓN DE LAS LABORES DE REHABILITACIÓN EN PORCENTAJES, EN LA TRONCAL PRINCIPAL, A) SAN JOSÉ – CALDERA, B) CALDERA – SAN JOSÉ .....	43
FIGURA 20. DISTRIBUCIÓN DE LAS LABORES DE REHABILITACIÓN EN PORCENTAJES, EN LA TRONCAL PRINCIPAL, A) SAN JOSÉ – CALDERA, B) CALDERA – SAN JOSÉ. SEGÚN RESULTADOS DEL GRIP TESTER. ....	44
FIGURA 21. RESULTADOS OBTENIDOS EN LA EVALUACIÓN DE LAS DEFLEXIONES DEL PAVIMENTO.....	45
FIGURA 22. RESULTADOS OBTENIDOS EN LA EVALUACIÓN DE LAS REGULARIDADES SUPERFICIALES DEL PAVIMENTO .....	46
FIGURA 23. RESULTADOS OBTENIDOS EN LA EVALUACIÓN DE LAS REGULARIDADES SUPERFICIALES DEL PAVIMENTO PARA LAS CAMPAÑAS 2012 AL 2020, SENTIDO CALDERA – SAN JOSÉ DE LA RUTA NACIONAL 27 .....	47
FIGURA 24. RESULTADOS OBTENIDOS EN LA EVALUACIÓN DEL NIVEL DE DESLIZAMIENTO SUPERFICIAL DEL PAVIMENTO PARA LAS CAMPAÑAS 2012 AL 2020, SENTIDO SAN JOSÉ – CALDERA DE LA RUTA NACIONAL 27 .....	47
FIGURA 25. RESULTADOS OBTENIDOS EN LA EVALUACIÓN DEL NIVEL DE DESLIZAMIENTO SUPERFICIAL DEL PAVIMENTO PARA LAS CAMPAÑAS 2012 AL 2020 SENTIDO CALDERA – SAN JOSÉ DE LA RUTA NACIONAL 27 .....	48
FIGURA 24. RESULTADOS OBTENIDOS EN LA COMPARACIÓN DE NOTAS Q PARA LAS CAMPAÑAS 2012 AL 2020. A) SAN JOSÉ – CALDERA, B) CALDERA – SAN JOSÉ .....	50
FIGURA 25.: RESULTADOS OBTENIDOS EN LA COMPARACIÓN DE ESTRATEGIAS DE INTERVENCIÓN PARA LAS CAMPAÑAS 2012 AL 2019. A) SAN JOSÉ – CALDERA, B) CALDERA – SAN JOSÉ .....	51
FIGURA 26 RESULTADOS DE DETERIOROS, SENTIDO SAN JOSÉ – CALDERA. ....	53
FIGURA 27. SELLOS DE GRIETAS.....	55
FIGURA 28: COMPARACIÓN DETERIORO SUPERFICIAL 2014 AL 2020 EN EL SENTIDO SAN JOSÉ - CALDERA. ....	56
FIGURA 29 CANTIDAD DE DETERIORO ENTRE EL 2014 AL 2018 EN EL SENTIDO SAN JOSÉ - CALDERA. ....	57
FIGURA 30: COMPARACIÓN DETERIORO SUPERFICIAL 2014 AL 2018 EN EL SENTIDO CALDERA - SAN JOSÉ. ....	58
FIGURA 31: COMPARACIÓN DETERIORO SUPERFICIAL 2014 AL 2018 EN EL SENTIDO CALDERA - SAN JOSÉ. ....	59
FIGURA 32. UBICACIÓN DE LAS RADIALES EN LA RUTA NACIONAL 27. ....	60
FIGURA 33. RESULTADOS OBTENIDOS CON EL DEFLECTÓMETRO DE IMPACTO, PARA LAS RADIALES DE LA RUTA 27, EN PORCENTAJES PARA CADA CATEGORÍA. ....	61
FIGURA 34. RESULTADOS OBTENIDOS CON EL PERFILÓMETRO LÁSER, PARA LAS RADIALES .....	62



FIGURA 35. RESULTADOS OBTENIDOS CON EL GRIP TESTER, PARA LAS RADIALES DEL PROYECTO CONCESIONADO, .....	63
FIGURA 36. RESULTADOS OBTENIDOS CON EL MU-METER, PARA LAS RADIALES DE LA RUTA 27, EN PORCENTAJES.....	63
FIGURA 37. NOTAS Q PARA LAS RADIALES. ....	64
FIGURA 38. DISTRIBUCIÓN DE DETERIOROS EN LAS RADIALES CON ÁREA DETERIORADA POR RADIAL, RUTA NACIONAL 27.....	65
FIGURA 39. COMPARATIVO DEFLEXIONES DE RADIAL EL COYOL AÑOS 2013-2020 .....	67
FIGURA 40. COMPARATIVO DEFLEXIONES DE RADIAL TÚRRUCARES AÑOS 2013-2020.....	68
FIGURA 41. COMPARATIVO DEFLEXIONES DE RADIAL ATENAS AÑOS 2013-2020.....	69
FIGURA 42. COMPARATIVO DEFLEXIONES DE RADIAL ESCOBAL AÑOS 2013-2020 .....	70
FIGURA 43. COMPARATIVO REGULARIDAD SUPERFICIAL DE RADIAL EL COYOL AÑOS 2013-2020.....	72
FIGURA 44. COMPARATIVO REGULARIDAD SUPERFICIAL DE RADIAL TÚRRUCARES AÑOS 2013-2020 .....	73
FIGURA 45. COMPARATIVO REGULARIDAD SUPERFICIAL DE RADIAL ATENAS AÑOS 2013-2020 .....	74
FIGURA 46. COMPARATIVO REGULARIDAD SUPERFICIAL DE RADIAL ESCOBAL AÑOS 2013-2020.....	75
FIGURA 47. COMPARATIVO COEFICIENTE DE ROZAMIENTO SUPERFICIAL (GRIPTESTER) RADIAL EL COYOL 2013-2020 .....	78
FIGURA 48. COMPARATIVO COEFICIENTE DE ROZAMIENTO SUPERFICIAL (GRIPTESTER) RADIAL TÚRRUCARES 2013-2020.....	79
FIGURA 49. COMPARATIVO COEFICIENTE DE ROZAMIENTO SUPERFICIAL (GRIPTESTER) RADIAL ATENAS 2013-2020.....	80
FIGURA 50. COMPARATIVO COEFICIENTE DE ROZAMIENTO SUPERFICIAL (GRIPTESTER) RADIAL ESCOBAL 2013-2020 .....	81
FIGURA 51. CONDICIÓN SUPERFICIAL EN RADIAL EL COYOL .....	82
FIGURA 52. CONDICIÓN SUPERFICIAL EN RADIAL TÚRRUCARES .....	83
FIGURA 53. CONDICIÓN SUPERFICIAL EN RADIAL ATENAS .....	84
FIGURA 54. EJEMPLO DE CURVA OBTENIDA A PARTIR DE LOS DATOS DEL PSI .....	86
FIGURA 55. GRÁFICA EJEMPLO PSI VS AÑO, E IRI VS AÑO.....	86
FIGURA 56: MODELO DE DETERIORO PARA EL TRAMO 3, SENTIDO SAN JOSÉ - CALDERA. ....	88
FIGURA 57: MODELO DE DETERIORO PARA EL TRAMO 2, SENTIDO CALDERA - SAN JOSÉ. ....	89
FIGURA 58. CONCEPTO DEL PSI, Y EL RESPECTIVO CAMBIO DEL VALOR CON EL TIEMPO PARA UN PAVIMENTO (LÍNEA NEGRA), CONTRA VALORES UMBRAL (LÍNEAS HORIZONTALES).....	90
FIGURA 59. TALUD EN EL KM 37+500 DE LA RUTA NACIONAL No.27. A LA IZQUIERDA SE OBSERVA LAS CONDICIONES DEL TALUD EN JUNIO 2020, MIENTRAS QUE LA FOTO DE LA DERECHA CORRESPONDE CON EL MES DE MAYO DEL 2021 DONDE SE OBSERVA LA SUPERFICIE DE ROCA Y SUELO, RECIENTEMENTE EXPUESTA POR LA INTERVENCIÓN REALIZADA POR EL CONCESIONARIO.....	95
FIGURA 60. DETALLE DE UN SECTOR DEL TALUD DEL ESTACIONAMIENTO 37+500. EN EL TRAMO CENTRAL SE PRESENTA METEORIZACIÓN Y FRACTURACIÓN INTENSA JUNTO CON LA EXPOSICIÓN DE BLOQUES DE ROCA CON POTENCIAL DE CAER EN LA CARRETERA .....	96
FIGURA 61. VISTA AÉREA DEL TALUD DE CORTE DEL KM 37+500, AL DÍA 5 DE AGOSTO DEL 2021, DURANTE LOS TRABAJOS DE INTERVENCIÓN POR PARTE DEL CONCESIONARIO. ....	96
FIGURA 62. A LA IZQUIERDA VISTA AÉREA DE LAS CUNETAS CON SEDIMENTACIÓN A LA DERECHA SE MUESTRA EL DETALLE DE LA ACUMULACIÓN DE LOS SEDIMENTOS EN LAS CUNETAS DEL TALUD RECIENTEMENTE CORTADO EN EL KM 37+500.....	97
FIGURA 63. DESLIZAMIENTO DEL 4 DE NOVIEMBRE DEL 2020 CON CAÍDA DE MATERIAL EN LA CARRETERA, KM 38+600. (FUENTE: LA REPÚBLICA, 5/11/2020).....	98
FIGURA 64, VISTA AÉREA DEL TALUD DE CORTE EN EL ESTACIONAMIENTO 38+600. SE OBSERVA EL AVANCE QUE PRESENTA EL CORTE REALIZADO POR EL CONCESIONARIO. ....	99
FIGURA 65, DETALLE DE UN SECTOR DEL TALUD DE CORTE EN EL KM 38+600. DENTRO DE LA LÍNEA ROJA SE OBSERVA UN DESLIZAMIENTO RECIENTE. SE DESTACA TAMBIÉN LA CERCANÍA CON LA LÍNEA DEL FERROCARRIL. ....	100
FIGURA 66. DESLIZAMIENTO DEL 10 DE NOVIEMBRE DEL 2020, CON AFECTACIÓN DIRECTA A LOS USUARIOS DE LA RUTA EN CONCESIÓN. SE DESTACA DENTRO DEL RECTÁNGULO Y A LA DERECHA LOS VEHÍCULOS AFECTADOS POR EL DESLIZAMIENTO (LA NACIÓN, 10/11/2020).....	101
FIGURA 67. FOTOGRAFÍA DEL ESTACIONAMIENTO 40+800 DE LA RUTA NACIONAL No.27 DONDE SE PRESENTÓ EL DESLIZAMIENTO, DENTRO DE LA LÍNEA ROJA SE DESTACA EL MATERIAL QUE ESTÁ SIN SOPORTE Y CON POTENCIAL DE CAER. ....	102
FIGURA 68. DESLIZAMIENTO Y ALGUNAS DE LAS OBRAS CONSTRUIDAS EN EL KM 44+500. SE DESTACA DENTRO DE LA LÍNEA AMARILLA EL TRAMO APROXIMADO DE CARRETERA QUE DE FORMA RECURRENTE PRESENTA HUNDIMIENTOS. ....	103



FIGURA 69. DETALLE DE LOS AGRIETAMIENTOS QUE SE CONTINÚAN PRESENTANDO EN LA FACHADA DEL MURO ANCLADO, EVIDENCIA DE LOS DESPLAZAMIENTOS EN EL TERRENO QUE DA SOPORTE A LA RUTA NACIONAL.....	104
FIGURA 70. FALLA EN LA VIGA DE AMARRE AL PIE DEL MURO ANCLADO. ....	104
FIGURA 71. TALUD EN EL KM 75+900 LUEGO DE LA CAÍDA DE LA ROCA, SE APRECIA PARTE DEL DAÑO QUE OCASIONÓ EN EL MURO DE GAVIONES Y LAS LABORES DE REMOCIÓN DEL MATERIAL CAÍDO. A LA DERECHA SE MUESTRA EL PROCESO DE METEORIZACIÓN ESFEROIDAL QUE SE DA EN EL NIVEL DONDE SE ENCUENTRAN LAS ROCAS. ....	106
FIGURA 72. PARTE ALTA DEL TALUD EN EL KM 75+900. SE DESTACA DENTRO DE LA LÍNEA ROJA LA ZONA QUE APARENTA POTENCIAL DE PROVOCAR DESPRENDIMIENTOS DE BLOQUES SIMILARES AL QUE SOBREPASÓ EL MURO DE GAVIONES Y CAYÓ EN LA CARRETERA. ....	107
FIGURA 73. CLASIFICACIÓN VISUAL EN FUNCIÓN DEL ESTADO DE LA DEMARCACIÓN HORIZONTAL.....	109
FIGURA 74. CLASIFICACIÓN VISUAL EN FUNCIÓN DEL ESTADO DEL SEÑALAMIENTO VERTICAL.....	110
FIGURA 75. ESTADO DE LAS SEÑALES VERTICALES SOBRE LA RUTA NACIONAL 27.....	114
FIGURA 76. ESTADO DE LAS SEÑALES VERTICALES POR TIPO SOBRE LA RUTA NACIONAL 27.....	115
FIGURA 77. INVENTARIO DE SEÑALES VERTICALES, RN27, SECCIÓN 0+000 – 20+000.....	116
FIGURA 78. INVENTARIO DE SEÑALES VERTICALES, RN27, SECCIÓN 20+000 – 40+000.....	116
FIGURA 79. INVENTARIO DE SEÑALES VERTICALES, RN27, SECCIÓN 40+000 – 60+000.....	117
FIGURA 80. INVENTARIO DE SEÑALES VERTICALES, RN27, SECCIÓN 60+000 – 76+000.....	117
FIGURA 81. ESTADO DE LAS SEÑALES VERTICALES SOBRE LAS RADIALES.....	119
FIGURA 82. ESTADO DE LAS SEÑALES VERTICALES POR TIPO SOBRE LA RADIAL EL COYOL.....	120
FIGURA 83. ESTADO DE LAS SEÑALES VERTICALES POR TIPO SOBRE LA RADIAL TURRÚCARES.....	121
FIGURA 84. ESTADO DE LAS SEÑALES VERTICALES POR TIPO SOBRE LA RADIAL ATENAS.....	121
FIGURA 85. ESTADO DE LAS SEÑALES VERTICALES POR TIPO SOBRE LA RADIAL ESCOBAL.....	122
FIGURA 86. INVENTARIO DE SEÑALES VERTICALES A) RADIAL COYOL, B) RADIAL TURRÚCARES.....	122
FIGURA 87. INVENTARIO DE SEÑALES VERTICALES A) RADIAL ATENAS, B) RADIAL ESCOBAL.....	123
FIGURA 88. ESTADO DE LA DEMARCACIÓN HORIZONTAL SOBRE LA RUTA NACIONAL 27 EN EL TRAMO CRÍTICO EVALUADO POR CADA TRAMO HOMOGÉNEO.....	124
FIGURA 89. EVALUACIÓN DE LA DEMARCACIÓN HORIZONTAL, RN27, SECCIÓN 0+000 – 20+000.....	125
FIGURA 90. EVALUACIÓN DE LA DEMARCACIÓN HORIZONTAL, RN27, SECCIÓN 20+000 – 40+000.....	125
FIGURA 91. EVALUACIÓN DE LA DEMARCACIÓN HORIZONTAL, RN27, SECCIÓN 40+000 – 60+000.....	126
FIGURA 92. EVALUACIÓN DE LA DEMARCACIÓN HORIZONTAL, RN27, SECCIÓN 60+000 – 76+000.....	126
FIGURA 93. ESTADO DE LA DEMARCACIÓN HORIZONTAL SOBRE LAS RADIALES EN EL TRAMO CRÍTICO EVALUADO POR CADA TRAMO HOMOGÉNEO.....	128
FIGURA 94. ESTADO DE LA DEMARCACIÓN HORIZONTAL PARA CADA RADIAL EN EL TRAMO CRÍTICO EVALUADO POR CADA TRAMO HOMOGÉNEO.....	128
FIGURA 95. EVALUACIÓN DE LA DEMARCACIÓN HORIZONTAL A) RADIAL COYOL, B) RADIAL TURRÚCARES.....	129
FIGURA 96. EVALUACIÓN DE LA DEMARCACIÓN HORIZONTAL A) RADIAL ATENAS, B) RADIAL ESCOBAL.....	129
FIGURA 97. ESTADO DE LOS SISTEMAS DE CONTENCIÓN VEHICULAR DEFICIENTES Y COLISIONADOS SOBRE LA RUTA NACIONAL 27.....	130
FIGURA 98. ESTADO DE LOS SISTEMAS DE CONTENCIÓN VEHICULAR POR TIPO DE DEFICIENCIAS SOBRE LA RUTA NACIONAL 27 ..	132
FIGURA 99. DEFICIENCIAS CRÍTICAS A NIVEL DE DISCONTINUIDADES EN BARRERA MEDIANERA (A) Y EN PRETIL DE PUENTE (B) ...	132
FIGURA 100. DEFICIENCIA REGULAR EN TRANSICIÓN DE BARRERAS LATERALES (A) Y DEFICIENCIA CRÍTICA EN TRANSICIÓN DE BARRERA MEDIANERA (B).....	133
FIGURA 101. DEFICIENCIAS CRÍTICAS A NIVEL DE TERMINALES: INICIO DE BARRERA MEDIANERA (A), INICIO DE BARRERA LATERAL (B), ZONA DE PEAJE (C) Y RAMPA DE SALIDA (D).....	133
FIGURA 102. EVALUACIÓN DE LOS SCV DEFICIENTES, RN27, SECCIÓN 0+000 – 20+000.....	134
FIGURA 103. EVALUACIÓN DE LOS SCV DEFICIENTES, RN27, SECCIÓN 20+000 – 40+000.....	134
FIGURA 104. EVALUACIÓN DE LOS SCV DEFICIENTES, RN27, SECCIÓN 40+000 – 60+000.....	135
FIGURA 105. EVALUACIÓN DE LOS SCV DEFICIENTES, RN27, SECCIÓN 40+000 – 76+000.....	135
FIGURA 106. ESTADO DE LOS SISTEMAS DE CONTENCIÓN VEHICULAR DEFICIENTES Y COLISIONADOS SOBRE LAS RADIALES.....	136
FIGURA 107. ESTADO DE LOS SISTEMAS DE CONTENCIÓN VEHICULAR POR TIPO DE DEFICIENCIAS SOBRE LAS RADIALES.....	137





FIGURA 108. ESTADO DE LOS SISTEMAS DE CONTENCIÓN VEHICULAR POR TIPO DE DEFICIENCIAS SOBRE RADIAL EL COYOL .....	138
FIGURA 109. ESTADO DE LOS SISTEMAS DE CONTENCIÓN VEHICULAR POR TIPO DE DEFICIENCIAS SOBRE RADIAL ATENAS.....	138
FIGURA 110. ESTADO DE LOS SISTEMAS DE CONTENCIÓN VEHICULAR POR TIPO DE DEFICIENCIAS SOBRE RADIAL ESCOBAL .....	139
FIGURA 111. EVALUACIÓN DE LOS SCV RADIAL COYOL .....	139
FIGURA 112. EVALUACIÓN DE LOS SCV A) RADIAL ATENAS, B) RADIAL ESCOBAL .....	140
FIGURA 113. HISTOGRAMA DE CHOQUES TOTALES POR KM PARA EL PERIODO 2016 – 2020 .....	141
FIGURA 114. REGISTRO DE CHOQUES VIALES SOBRE LA R.N. 27: PERIODO 2016-2020 .....	142
FIGURA 115. TRAMO 1: SECTOR SUR DEL PARQUE DE LA SABANA.....	146
FIGURA 116. TRAMO 2: INMEDIACIONES PEAJE ESCAZÚ .....	147
FIGURA 117. TRAMO 3: SECTOR ENTRE MULTIPLAZA ESCAZÚ Y RADIAL GUACHIPELÍN.....	148
FIGURA 118. TRAMO 4: SECTOR ENTRE RADIAL LINDORA Y PEAJE HACIA CIUDAD COLÓN .....	149
FIGURA 119. TRAMO 5: ESTE DE RADIAL POZÓN .....	150
FIGURA 120. TRAMO 6: SECTOR ENTRE RADIAL CEIBA Y RADIAL CASCAJAL.....	151
FIGURA 121. TRAMO 7: INMEDIACIONES DE SERVICENTRO 27, PREDIO Y ALMACÉN CALDERA .....	152
FIGURA 122. RIESGO DE SINIESTRALIDAD POR TRAMO HOMOGÉNEO: SECCIÓN 0+000 – 20+000 .....	156
FIGURA 123. RIESGO DE SINIESTRALIDAD POR TRAMO HOMOGÉNEO: SECCIÓN 20+000 – 40+000 .....	156
FIGURA 124. RIESGO DE SINIESTRALIDAD POR TRAMO HOMOGÉNEO: SECCIÓN 40+000 – 60+000 .....	157
FIGURA 125. RIESGO DE SINIESTRALIDAD POR TRAMO HOMOGÉNEO: SECCIÓN 40+000 – 60+000 .....	157
FIGURA 126. SECCIÓN TRANSVERSAL DEL TRAMO HOMOGÉNEO 16 .....	159
FIGURA 127. SECCIÓN TRANSVERSAL DEL TRAMO HOMOGÉNEO 56 .....	160
FIGURA 128. SECCIÓN TRANSVERSAL DEL TRAMO HOMOGÉNEO 62 .....	162
FIGURA 129. SECCIÓN TRANSVERSAL DEL TRAMO HOMOGÉNEO 65 .....	163
FIGURA 130. SECCIÓN TRANSVERSAL DEL TRAMO HOMOGÉNEO 72 .....	164
FIGURA 131. SECCIÓN TRANSVERSAL DEL TRAMO HOMOGÉNEO 86 .....	165
FIGURA 132. SECCIÓN TRANSVERSAL DEL TRAMO HOMOGÉNEO 95 .....	166
FIGURA 133. SECCIÓN TRANSVERSAL DEL TRAMO HOMOGÉNEO 112 .....	168
FIGURA 134. SECCIÓN TRANSVERSAL DEL TRAMO HOMOGÉNEO 142 .....	169
FIGURA 135. EJEMPLO DE RECORRIDO DE VECINOS DEL POBLADO DE UVITA, SECTOR ESTE .....	172
FIGURA 136. VECINOS DE UVITA Y OTROS POBLADOS CERCANOS, ESPERANDO AUTOBÚS .....	173
FIGURA 137. CHOQUES VIALES CONTRA SISTEMAS DE CONTENCIÓN VEHICULAR DE CONCRETO DEFICIENTE.....	176
FIGURA 138. ACCESOS INSEGUROS A RUTA NACIONAL 27, ALEDAÑO AL PUENTE SOBRE EL RÍO CARAÑA.....	177



## ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1. RANGOS DE DEFLEXIÓN, UTILIZADOS PARA CLASIFICAR LOS DATOS DE DEFLECTOMETRÍA DEL PROYECTO .....	21
TABLA 2. DEFLEXIONES FWD OBTENIDAS PARA EL SENTIDO SAN JOSÉ - CALDERA, CAMPAÑA 2020-2021 .....	22
TABLA 3. DEFLEXIONES FWD OBTENIDAS PARA EL SENTIDO CALDERA – SAN JOSÉ, CAMPAÑA 2020-2021.....	23
TABLA 4. RANGOS DE CLASIFICACIÓN DEL ÍNDICE DE REGULARIDAD INTERNACIONAL (IRI) .....	26
TABLA 5. RESULTADOS OBTENIDOS EN REGULARIDAD SUPERFICIAL, RUTA 27.....	26
TABLA 6. CLASIFICACIÓN INTERNACIONAL DEL PAVIMENTO SEGÚN EL GN .....	30
TABLA 7. RESULTADOS OBTENIDOS CON EL GRIPTESTER .....	31
TABLA 8. RANGO DE APLICACIÓN DEL MODELO PARA EL CÁLCULO DEL PSI COSTA RICA .....	85
TABLA 9. SECCIONES DE CONTROL.....	85
TABLA 10. AÑO EN EL QUE EL PSI ALCANZA EL VALOR DE 3,0 (UMBRAL DE REHABILITACIÓN MAYOR) .....	91
TABLA 11. INFORMES DE EVALUACIÓN GEOLÓGICA Y GEOTÉCNICA DE LA RUTA NACIONAL No.27 REMITIDOS POR EL LANAMMEUCR. ....	93
TABLA 12. PARÁMETROS Y CRITERIOS PARA EVALUACIÓN DE SCV .....	110
TABLA 13. PARÁMETROS Y CRITERIOS DE EVALUACIÓN PARA SCV (CONTINUACIÓN) .....	111
TABLA 14. CLASIFICACIÓN DE EXPOSICIÓN AL RIESGO POR CHOQUES VIALES .....	113
TABLA 15. REGISTRO DE SEÑALES SEGMENTADAS POR TIPO Y ESTADO SOBRE LA RUTA NACIONAL 27 .....	115
TABLA 16. REGISTRO DE SEÑALES SEGMENTADAS POR TIPO Y ESTADO SOBRE LA RADIAL EL COYOL .....	119
TABLA 17. REGISTRO DE SEÑALES SEGMENTADAS POR TIPO Y ESTADO SOBRE LA RADIAL TURRÚCARES.....	119
TABLA 18. REGISTRO DE SEÑALES SEGMENTADAS POR TIPO Y ESTADO SOBRE LA RADIAL ATENAS.....	120
TABLA 19. REGISTRO DE SEÑALES SEGMENTADAS POR TIPO Y ESTADO SOBRE LA RADIAL ESCOBAL .....	120
TABLA 20. CHOQUES VIALES POR TIPO DE EVENTO SOBRE LA R.N. 27: PERIODO 2016-2020 .....	142
TABLA 21. LISTA DE TRAMOS CON OCURRENCIA DE ATROPELLOS, PERIODO 2016 – 2019 .....	144
TABLA 22. CLASIFICACIÓN DE EXPOSICIÓN AL RIESGO POR CHOQUES VIALES POR CATEGORÍA DE COLOR .....	153
TABLA 23. TRAMOS HOMOGÉNEOS EN FUNCIÓN DEL RIESGO DE SINIESTRALIDAD .....	153

## ÍNDICE DE FIGURAS ANEXO

FIGURA A1 1. RESULTADOS FWD, RUTA NACIONAL 27, SENTIDO SAN JOSÉ – CALDERA EST. 0+000 - 20+000.....	201
FIGURA A1 2. RESULTADOS FWD, RUTA NACIONAL 27, SENTIDO SAN JOSÉ – CALDERA EST. 20+000 - 40+000.....	201
FIGURA A1 3. RESULTADOS FWD, RUTA NACIONAL 27, SENTIDO SAN JOSÉ – CALDERA EST. 40+000 - 60+000.....	202
FIGURA A1 4. RESULTADOS FWD, RUTA NACIONAL 27, SENTIDO SAN JOSÉ – CALDERA EST. 60+000 - 76+000.....	202
FIGURA A1 5. RESULTADOS FWD, RUTA NACIONAL 27, SENTIDO CALDERA – SAN JOSÉ EST. 0+000 - 20+000.....	203
FIGURA A1 6. RESULTADOS FWD, RUTA NACIONAL 27, SENTIDO CALDERA – SAN JOSÉ EST. 20+000 – 40+000.....	203
FIGURA A1 7. RESULTADOS FWD, RUTA NACIONAL 27, SENTIDO CALDERA – SAN JOSÉ EST. 40+000 - 60+000.....	204
FIGURA A1 8. RESULTADOS FWD, RUTA NACIONAL 27, SENTIDO CALDERA – SAN JOSÉ EST. 60+000 - 76+000.....	204
FIGURA A2 1. RESULTADOS IRI, RUTA NACIONAL 27, SENTIDO SAN JOSÉ – CALDERA EST. 0+000 - 20+000 .....	206
FIGURA A2 2. RESULTADOS IRI, RUTA NACIONAL 27, SENTIDO SAN JOSÉ – CALDERA EST. 20+000 - 40+000.....	206
FIGURA A2 3. RESULTADOS IRI, RUTA NACIONAL 27, SENTIDO SAN JOSÉ – CALDERA EST. 40+000 - 60+000.....	207
FIGURA A2 4. RESULTADOS IRI, RUTA NACIONAL 27, SENTIDO SAN JOSÉ – CALDERA EST. 60+000 - 76+000.....	207
FIGURA A2 5. RESULTADOS IRI, RUTA NACIONAL 27, SENTIDO CALDERA – SAN JOSÉ EST. 0+000 - 20+000 .....	208
FIGURA A2 6. RESULTADOS IRI, RUTA NACIONAL 27, SENTIDO CALDERA – SAN JOSÉ EST. 20+000 - 40+000 .....	208
FIGURA A2 7. RESULTADOS IRI, RUTA NACIONAL 27, SENTIDO CALDERA – SAN JOSÉ EST. 40+000 - 60+000 .....	209
FIGURA A3 1. RESULTADOS GRIP, RUTA NACIONAL 27, SENTIDO SAN JOSÉ – CALDERA EST. 0+000 -20+000.....	211
FIGURA A3 2. RESULTADOS GRIP, RUTA NACIONAL 27, SENTIDO SAN JOSÉ – CALDERA EST. 20+000 - 40+000.....	211
FIGURA A3 3. RESULTADOS GRIP, RUTA NACIONAL 27, SENTIDO SAN JOSÉ – CALDERA EST. 40+000 - 60+000.....	212
FIGURA A3 4. RESULTADOS GRIP, RUTA NACIONAL 27, SENTIDO SAN JOSÉ – CALDERA EST. 60+000 - 76+000.....	212
FIGURA A3 5. RESULTADOS GRIP, RUTA NACIONAL 27, SENTIDO CALDERA – SAN JOSÉ EST. 0+000 - 20+000.....	213





FIGURA A3 6. RESULTADOS GRIP, RUTA NACIONAL 27, SENTIDO CALDERA – SAN JOSÉ EST. 20+000 - 40+000..... 213  
 FIGURA A3 7. RESULTADOS GRIP, RUTA NACIONAL 27, SENTIDO CALDERA – SAN JOSÉ EST. 40+000 - 60+000..... 214  
 FIGURA A3 8. RESULTADOS GRIP, RUTA NACIONAL 27, SENTIDO CALDERA – SAN JOSÉ EST. 60+000 - 76+000..... 214  
 FIGURA A3 9. RESULTADOS MUMETER, RUTA NACIONAL 27, SENTIDO SAN JOSÉ – CALDERA EST. 0+000 -20+000 ..... 215  
 FIGURA A3 10. RESULTADOS MUMETER, RUTA NACIONAL 27, SENTIDO SAN JOSÉ – CALDERA EST. 20+000 - 40+000 ..... 215  
 FIGURA A3 11. RESULTADOS MUMETER, RUTA NACIONAL 27, SENTIDO SAN JOSÉ – CALDERA EST. 40+000 - ..... 216  
 FIGURA A3 12. RESULTADOS MUMETER, RUTA NACIONAL 27, SENTIDO SAN JOSÉ – CALDERA EST. 60+000 - 76+000..... 216  
 FIGURA A3 13. RESULTADOS MUMETER, RUTA NACIONAL 27, SENTIDO CALDERA – SAN JOSÉ EST. 0+000 - 20+000 ..... 217  
 FIGURA A3 14. RESULTADOS MUMETER, RUTA NACIONAL 27, SENTIDO CALDERA – SAN JOSÉ EST. 20+000 - 40+000 ..... 217  
 FIGURA A3 15. RESULTADOS MUMETER, RUTA NACIONAL 27, SENTIDO CALDERA – SAN JOSÉ EST. 40+000 - 60+000 ..... 218  
 FIGURA A3 16. RESULTADOS MUMETER, RUTA NACIONAL 27, SENTIDO CALDERA – SAN JOSÉ EST. 60+000 - 76+000 ..... 218

FIGURA A4 1. RESULTADOS NOTAS Q, RUTA NACIONAL 27, SENTIDO SAN JOSÉ - CALDERA EST. 0+000 - 20+000 ..... 220  
 FIGURA A4 2. RESULTADOS NOTAS Q, RUTA NACIONAL 27, SENTIDO SAN JOSÉ - CALDERA EST. 20+000 - 40+000 ..... 220  
 FIGURA A4 3. RESULTADOS NOTAS Q, RUTA NACIONAL 27, SENTIDO SAN JOSÉ - CALDERA EST. 40+000 - 60+000 ..... 221  
 FIGURA A4 4. RESULTADOS NOTAS Q, RUTA NACIONAL 27, SENTIDO SAN JOSÉ - CALDERA EST. 60+000 - 76+000 ..... 221  
 FIGURA A4 5. RESULTADOS NOTAS Q, RUTA NACIONAL 27, SENTIDO CALDERA – SAN JOSÉ EST. 0+000 - 20+000 ..... 222  
 FIGURA A4 6. RESULTADOS NOTAS Q, RUTA NACIONAL 27, SENTIDO CALDERA – SAN JOSÉ EST. 20+000 - 40+000..... 222  
 FIGURA A4 7. RESULTADOS NOTAS Q, RUTA NACIONAL 27, SENTIDO CALDERA – SAN JOSÉ EST. 40+000 - 60+000..... 223  
 FIGURA A4 8. RESULTADOS NOTAS Q, RUTA NACIONAL 27, SENTIDO CALDERA – SAN JOSÉ EST. 60+000 - 76+000..... 223

FIGURA A5 1. RESULTADOS FWD, RADIAL EL COYOL, SENTIDO RUTA NACIONAL 27 - EL COYOL..... 225  
 FIGURA A5 2. RESULTADOS FWD, RADIAL EL COYOL, SENTIDO EL COYOL - RUTA NACIONAL 27..... 225  
 FIGURA A5 3. RESULTADOS IRI, RADIAL EL COYOL, SENTIDO RUTA NACIONAL 27 - EL COYOL ..... 226  
 FIGURA A5 4. RESULTADOS IRI, RADIAL EL COYOL, SENTIDO EL COYOL - RUTA NACIONAL 27..... 226  
 FIGURA A5 5. RESULTADOS GRIP, RADIAL EL COYOL, SENTIDO RUTA NACIONAL 27 - EL COYOL..... 227  
 FIGURA A5 6. RESULTADOS GRIP, RADIAL EL COYOL, SENTIDO EL COYOL - RUTA NACIONAL 27..... 227  
 FIGURA A5 7. RESULTADOS MUMETER, RADIAL EL COYOL, SENTIDO RUTA NACIONAL 27 – EL COYOL..... 228  
 FIGURA A5 8. RESULTADOS MUMETER, RADIAL EL COYOL, SENTIDO EL COYOL - RUTA NACIONAL 27 ..... 228  
 FIGURA A5 9. RESULTADOS NOTAS Q, RADIAL EL COYOL, SENTIDO RUTA NACIONAL 27 - EL COYOL..... 229  
 FIGURA A5 10. RESULTADOS NOTAS Q, RADIAL EL COYOL, SENTIDO EL COYOL - RUTA NACIONAL 27..... 229  
 FIGURA A5 11. RESULTADOS BACHEO, RADIAL EL COYOL, SENTIDO RUTA NACIONAL 27 - EL COYOL ..... 230  
 FIGURA A5 12. RESULTADOS BACHEO, RADIAL EL COYOL, SENTIDO EL COYOL - RUTA NACIONAL 27 ..... 230  
 FIGURA A5 13. RESULTADOS PIEL DE LAGARTO, RADIAL EL COYOL, SENTIDO RUTA NACIONAL 27 - EL COYOL ..... 231  
 FIGURA A5 14. RESULTADOS PIEL DE LAGARTO, RADIAL EL COYOL, SENTIDO EL COYOL – RUTA NACIONAL 27 ..... 231  
 FIGURA A5 15. RESULTADOS EXUDACIÓN, RADIAL EL COYOL, SENTIDO RUTA NACIONAL 27 – EL COYOL..... 232  
 FIGURA A5 16. RESULTADOS EXUDACIÓN, RADIAL EL COYOL, SENTIDO EL COYOL – RUTA NACIONAL 27..... 232  
 FIGURA A5 17. RESULTADOS AGRIETAMIENTO, RADIAL EL COYOL, SENTIDO EL COYOL – RUTA NACIONAL 27 ..... 233  
 FIGURA A5 18. RESULTADOS AGRIETAMIENTO, RADIAL EL COYOL, SENTIDO RUTA NACIONAL 27 – EL COYOL ..... 233  
 FIGURA A5 19. RESULTADOS FWD, RADIAL ATENAS, SENTIDO RUTA NACIONAL 27 - ATENAS..... 234  
 FIGURA A5 20. RESULTADOS FWD, RADIAL ATENAS, SENTIDO ATENAS - RUTA NACIONAL 27..... 234  
 FIGURA A5 21. RESULTADOS IRI, RADIAL ATENAS, SENTIDO RUTA NACIONAL 27 - ATENAS ..... 235  
 FIGURA A5 2-2 RESULTADOS IRI, RADIAL ATENAS, SENTIDO ATENAS - RUTA NACIONAL 27 ..... 235  
 FIGURA A5 23. RESULTADOS GRIP, RADIAL ATENAS, SENTIDO RUTA NACIONAL 27 - ATENAS..... 236  
 FIGURA A5 24. RESULTADOS GRIP, RADIAL ATENAS, SENTIDO ATENAS - RUTA NACIONAL 27..... 236  
 FIGURA A5 25. RESULTADOS MUMETER, RADIAL ATENAS, SENTIDO RUTA NACIONAL 27 - ATENAS ..... 237  
 FIGURA A5 26. RESULTADOS MUMETER, RADIAL ATENAS, SENTIDO ATENAS - RUTA NACIONAL 27 ..... 237  
 FIGURA A5 27. RESULTADOS NOTAS Q, RADIAL ATENAS, SENTIDO RUTA NACIONAL 27 - ATENAS ..... 238  
 FIGURA A5 28. RESULTADOS NOTAS Q, RADIAL ATENAS, SENTIDO ATENAS - RUTA NACIONAL 27 ..... 238  
 FIGURA A5 29. RESULTADOS BACHEO, RADIAL ATENAS, SENTIDO RUTA NACIONAL 27 - ATENAS ..... 239



FIGURA A5 30. RESULTADOS BACHEO, RADIAL ATENAS, SENTIDO ATENAS - RUTA NACIONAL 27 .....	239
FIGURA A5 31. RESULTADOS PIEL DE LAGARTO, RADIAL ATENAS, SENTIDO RUTA NACIONAL 27 - ATENAS .....	240
FIGURA A5 32. RESULTADOS PIEL DE LAGARTO, RADIAL ATENAS, SENTIDO ATENAS - RUTA NACIONAL 27 .....	240
FIGURA A5 33. RESULTADOS EXUDACIÓN, RADIAL ATENAS, SENTIDO RUTA NACIONAL 27 – ATENAS .....	241
FIGURA A5 34. RESULTADOS DESPRENDIMIENTO, RADIAL ATENAS, SENTIDO ATENAS – RUTA NACIONAL 27.....	241
FIGURA A5 35. RESULTADOS EXUDACIÓN, RADIAL ATENAS, SENTIDO ATENAS – RUTA NACIONAL 27 .....	242
FIGURA A5 36. RESULTADOS EXUDACIÓN, RADIAL ATENAS, SENTIDO RUTA NACIONAL 27 – ATENAS .....	242
FIGURA A5 37. RESULTADOS AGRIETAMIENTO, RADIAL ATENAS, SENTIDO RUTA NACIONAL 27 – ATENAS .....	243
FIGURA A5 38. RESULTADOS AGRIETAMIENTO, RADIAL ATENAS, SENTIDO ATENAS – RUTA NACIONAL 27 .....	243



## RESUMEN

Bajo el marco de la Ley No. 8114, le corresponde al LanammeUCR realizar una evaluación anual de las carreteras administradas bajo la modalidad de concesión de obra pública, cumpliendo la función de ser un instrumento eficaz e imparcial contribuyendo a garantizar la calidad y el mantenimiento de los niveles de servicio del patrimonio vial en manos de empresas concesionarias. En este informe se evalúa la condición actual de la Concesión de Obra Pública Ruta Nacional 27 Carretera San José – Caldera para el periodo 2020 – 2021.

Para valorar de forma objetiva la calidad y desempeño de un proyecto en concesión y el mantenimiento de los niveles de servicio a lo largo de la vida útil del mismo, es necesario contar con especificaciones técnicas que definan estándares mínimos de calidad. En el caso de especificaciones contractuales en un estudio anterior se identificó poca exigencia o ambigüedad en los parámetros, equipos o procedimientos de medición, la *Unidad de Gestión y Evaluación de la Red Vial Nacional del Programa de Infraestructura de Transporte del LanammeUCR*, realizó la valoración de acuerdo con los estándares de calidad, equipos y procedimientos establecidos internacionalmente para este tipo de proyectos. El análisis de las especificaciones contractuales ya fue presentado en el informe *LM-PI-ERV-40-2010*, emitido el 18 de octubre del año 2010.

Los parámetros técnicos con los que se realizó la evaluación de este proyecto están relacionados directamente con la vida útil o de servicio del proyecto, con el costo de operación de la flota vehicular que por allí circula y con los niveles de seguridad vial que se brindan. Para el análisis de la capacidad estructural, se utilizó el *Deflectómetro de Impacto (FWD)* para medir las deflexiones obtenidas al someter al pavimento a una fuerza que simula cargas de tránsito, lo que permite calcular la capacidad del paquete estructural del pavimento. Para el análisis de la capacidad funcional, se utilizó el *Perfilómetro Láser*, que mide las irregularidades superficiales (*IRI*) de las vías, asociadas tanto al confort percibido por los usuarios, como con los costos de operación de los vehículos que circulan por un tramo de ruta.

En el tema de seguridad vial, la *Unidad de Seguridad Vial y Transporte del Programa de Infraestructura de Transporte del LanammeUCR*, utilizó dos equipos para medir la condición de deslizamiento de la superficie del pavimento, conocidos por su nombre en inglés como GripTester y el MuMeter: ambos equipos miden el coeficiente de fricción del pavimento en mojado (condición crítica), parámetro que podría incidir en los choques viales ante condiciones de baja fricción entre la vía y las ruedas de los vehículos.

También, mediante el equipo de inventario móvil, se realizó la evaluación de los sistemas de contención vehicular en condición colisionada o deficiente, así como la evaluación de las señales verticales y demarcación horizontal de la troncal principal y de las radiales. A nivel de choques viales, se analizaron los sitios con mayor ocurrencia de atropellos y los tramos de concentración de choques viales sobre la troncal principal.

Por último, con el Equipo de Imágenes Georeferenciadas de Alta Resolución, se realizó un levantamiento completo tanto de la troncal principal, como de las radiales del proyecto,

Informe: EIC-Lanamme-INF-0140-2021	Octubre, 2021	Página 13 de 252
------------------------------------	---------------	------------------



lo cual permite tener un registro histórico del estado de la ruta al momento de dicha evaluación, así como la obtención de la ubicación, tipo y severidad de ciertos deterioros que afectan su superficie.

### Reconocimiento

Se extiende un reconocimiento por la valiosa colaboración brindada en el desarrollo de este informe, a las estudiantes de la Escuela de Ingeniería Civil que cumplen con labores de asistencia, los cuales son:

Unidad de gestión de la red vial nacional (UGERVN)

- Sophia Calderón Trigueros

Unidad de seguridad vial y transporte (USVT)

- Daniela Alvarado Aglietti
- Gilberto Ramírez Umaña

Sin su valioso aporte no sería posible esta importante herramienta de gestión y evaluación de la infraestructura Nacional.



## 1 INTRODUCCIÓN Y ANTECEDENTES

Según se establece en el artículo 5 de la Ley No. 8114 sobre la *Simplificación y Eficiencia Tributaria*, “para garantizar la máxima eficiencia de la inversión pública de reconstrucción y conservación óptima de la red vial costarricense...”, la *Universidad de Costa Rica*, a través del *Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales* (en adelante, *LanammeUCR*), deberá efectuar una evaluación anual de los proyectos y puentes en concesión.

De conformidad con lo señalado, el presente es un informe de evaluación que se enmarca dentro de las funciones de fiscalizador que la citada ley le confiere al LanammeUCR. El trabajo realizado tiene como uno de los puntos de partida el levantamiento y la obtención de datos realizado por parte del Laboratorio de Evaluación de Pavimentos con los distintos equipos de alta tecnología con los que cuenta el LanammeUCR. Cabe destacar su alto nivel profesional y técnico a la hora de recabar información en sitio, lo que permite obtener resultados altamente confiables para el análisis incluido en este informe.

La calidad final de un proyecto vial administrado bajo la modalidad de concesión de obra pública depende principalmente de dos aspectos: 1. La rigurosa fundamentación técnica de las especificaciones establecidas en el contrato, tomando en consideración que el proyecto debe brindar a los usuarios un servicio eficiente, confortable y seguro, considerando que además debe darse una recuperación del patrimonio vial representado por el proyecto específico, ya que eventualmente su gestión volverá a manos de la Administración; y 2. Que el Estado o el ente encargado de fiscalizar el cumplimiento contractual, tenga acceso o cuente con los recursos, capacidad técnica, conocimiento y tecnología suficiente para velar por el mantenimiento de los niveles de servicio a lo largo de la vida útil del proyecto, y exigir al *Concesionario* el cumplimiento de los estándares establecidos.

El LanammeUCR ha evaluado este proyecto desde el año 2010, lo que representa una experiencia de aproximadamente 1.470 km evaluados hasta el año 2020 con equipos de alta tecnología, lo cual garantiza un alto nivel de profesionalismo y calidad en la evaluación de proyectos de este tipo. Cabe destacar que la principal diferencia entre evaluar un proyecto en concesión en comparación con la *Red Vial Nacional* no radica en los parámetros que se evalúan, sino en el nivel de detalle de la información que se genera; es decir, mientras una evaluación a nivel de red permite realizar mediciones con frecuencias mayores (ej. cada 500 metros) para poder calificar la condición de las vías, en evaluaciones a nivel de proyecto es necesario realizar mediciones con intervalos menores (ej. cada 50 metros).

Tomando en consideración lo explicado anteriormente, la evaluación realizada en este proyecto se representa en el siguiente esquema operativo (Figura 1):

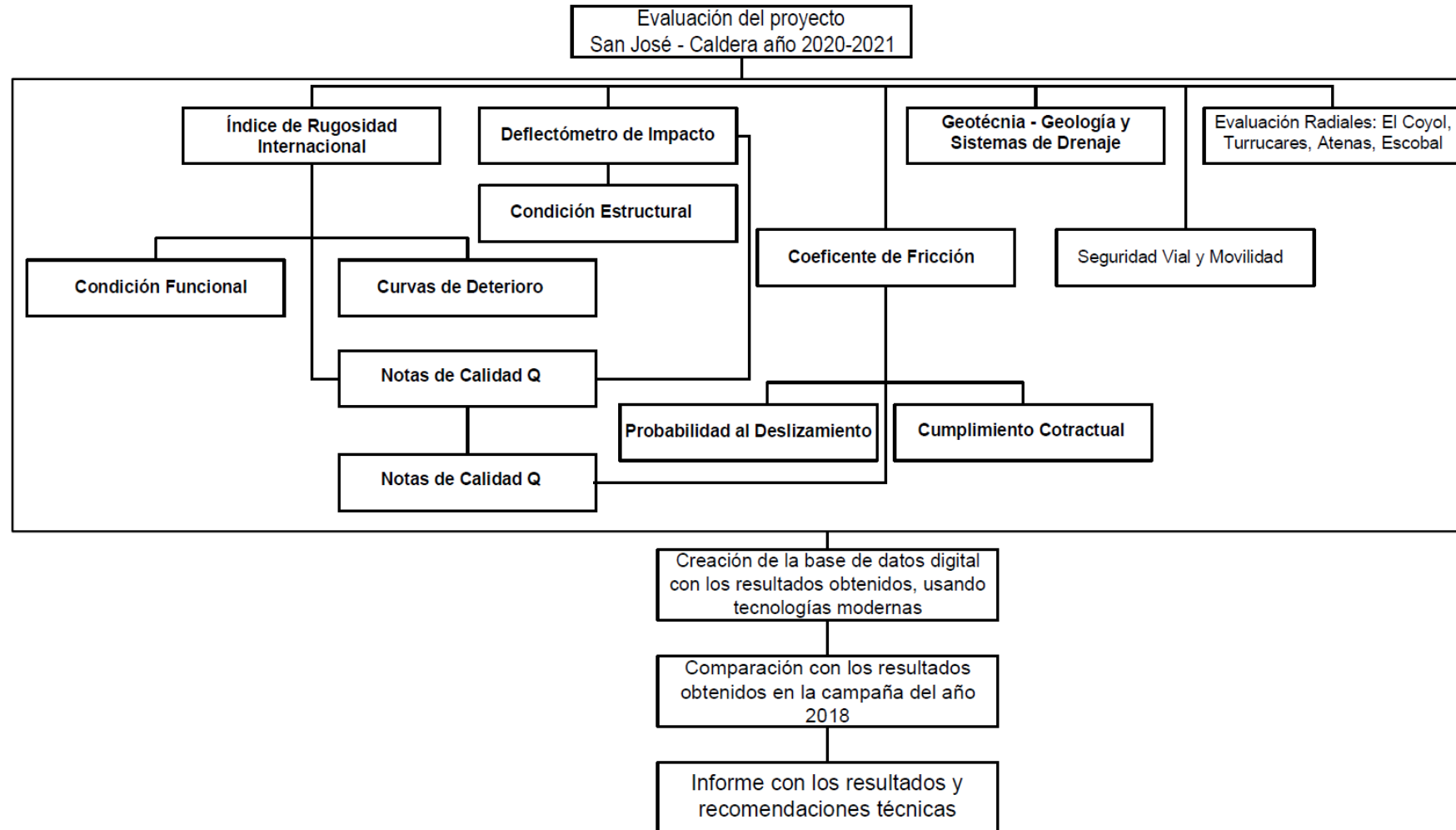


Figura 1: Diagrama de la evaluación del proyecto San José – Caldera Ruta 27, años 2020 - 2021.



Como parte de las obras realizadas por la concesionaria en la carretera San José - Caldera, se incluyó en el proyecto la construcción de las siguientes radiales:

- Radial El Coyol de Alajuela (4,1 km)
- Radial Turrúcares (0,1 km)
- Radial Atenas (3,30 km)
- Radial Escobal (0,30 km)

Los mismos equipos de evaluación aplicados a la troncal principal, fueron utilizados en la evaluación de estas radiales.

Se realizó la evaluación de dispositivos que inciden en la seguridad vial de la Ruta Nacional 27 y sus radiales, como lo son los sistemas de contención vehicular, la señalización vertical y la demarcación horizontal. De forma complementaria, a partir de los datos de choques viales se identificaron tramos con mayor ocurrencia de atropellos y mayor concentración de choques viales sobre la troncal principal, tramos en los que se realizó una evaluación específica y se propusieron medidas a implementar en el corto y largo plazo.

Se realizó también un análisis geológico y geotécnico en sitios de interés: en cinco taludes aledaños a la ruta, así como un control de aquellos sitios que han presentado, en el pasado, problemas como deslizamientos, agrietamientos y drenaje ácido. Para la realización de esta evaluación se siguió la siguiente metodología:

1. Seguimiento de la condición de sitios de la carretera que históricamente han presentado problemas que son de interés para las áreas de geología y geotecnia, así como aquellos sitios que han sido evaluados en informes anteriores del LanammeUCR.
2. Evaluaciones de campo periódicas con los siguientes objetivos:
  - 2.1 Descripción de las condiciones geológicas de los sitios de interés, en especial aquellas que afectan el desempeño de las obras construidas por el Concesionario. Esto incluye la observación y determinación del grado de meteorización y alteración de los materiales en relación con su origen geológico, sitios que presentan Drenaje Ácido de Rocas, etc.
  - 2.2 Descripción de condiciones geotécnicas de los sitios y las obras de interés. Esto incluye la identificación y descripción de sitios con materiales que evidencien inestabilidad, así como el riesgo potencial que representan según la altura del talud o ladera, la cercanía con la carretera y su condición de deterioro. Descripción de nuevas obras geotécnicas, generación de criterios sobre las nuevas intervenciones que haya realizado el Concesionario en este campo, descripción de la condición y la evolución de las obras geotécnicas anteriormente construidas y evaluadas, tales como obras de retención, rellenos y sistemas de drenaje en los taludes, incluyendo deterioros, evidencia o falta de mantenimiento,





problemas de erosión, deformaciones u otros cambios observables, pérdida de funcionalidad, etc.

2.3 Levantamiento de datos mediante el registro fotográfico de la condición de estos activos geotécnicos y generación de modelos de elevación digital mediante el uso de vehículos aéreos no tripulados.

2.4 Monitoreo geotécnico de sitios de interés. En los sitios en los que el LanammeUCR mantiene activos equipos para el monitoreo de obras geotécnicas se realiza el levantamiento de los datos de los equipos, la descripción de la condición de dichos activos, inventario de nuevos deterioros identificados tanto en la obra geotécnica como en el pavimento de la carretera, descripción de la consecuente afectación a los usuarios, valoración de la necesidad de comunicar alguna situación particular al Consejo Nacional de Concesiones, etc. La instalación de los equipos de monitoreo geotécnico se realiza en coordinación con el CNC, con el fin de que este a su vez informe al Concesionario sobre las actividades de monitoreo que realiza el LanammeUCR.

3. Comunicación con el Consejo Nacional de Concesiones (CNC). En los casos que se considera oportuno se realizan consultas al CNC sobre información requerida para llevar a cabo la evaluación de la ruta en concesión. Además, si producto del seguimiento de la condición de los activos geotécnicos, en algún momento se considera necesario informar al CNC sobre alguna condición particular que se considere de alto riesgo potencial para los usuarios, inmediatamente se prepara un oficio con el detalle de la información pertinente según sea el caso.
4. Procesamiento de los datos obtenidos. Los datos obtenidos en las evaluaciones de campo, así como toda la información recopilada durante el año de evaluación es procesada y organizada, con el fin de identificar los aspectos más relevantes que serán posteriormente desarrollados para aportar al informe de evaluación anual de esta ruta en concesión.
5. Generación del capítulo de evaluación de la condición geológica y geotécnica de esta Ruta Nacional.





## 2 LIMITACIONES EN EL PROCESO DE EVALUACIÓN DE OBRAS GEOLÓGICAS Y GEOTÉCNICAS

Como parte fundamental para el desarrollo del proceso de evaluación que le corresponde a este laboratorio, se tiene como uno de los puntos de partida, el levantamiento y la obtención de datos, así como la solicitud de información técnica en caso de ser considerada relevante para el correcto dimensionamiento de las actividades bajo evaluación técnica.

De esta forma, el LanammeUCR por medio de la Unidad de Gestión y Evaluación de la Red Vial Nacional ha solicitado, en reiteradas ocasiones, información técnica sobre las intervenciones que ha realizado el Concesionario en la zona del deslizamiento del km 44+500, un sitio que ha sido analizado de forma reiterada en varios informes de fiscalización de este proyecto por parte del LanammeUCR. En este estacionamiento de la carretera el Concesionario construyó un relleno que ha, presentado graves condiciones de inestabilidad geotécnica y que representa un enorme riesgo para la seguridad de los usuarios, además de la pérdida de conectividad en el corredor (ver sección 6. Condiciones Geotécnicas del corredor vial Ruta 27 de este mismo informe). Esta potencial pérdida de conectividad significaría también una potencial pérdida económica para el país, por considerarse este corredor uno de los principales ejes logísticos de la Red Vial Nacional por donde circula gran cantidad de bienes desde y hacia el puerto de Caldera. Las solicitudes de referencia se encuentran trazables por medio de los oficios LM-IC-D-0208-18 del 22 de marzo de 2018, LM-IC-D-0870-19 del 16 de octubre de 2019 y LM-IC-D-0689-2021 del 11 de agosto de 2021, de los cuales no se recibió ningún tipo de respuesta.

Las solicitudes de referencia son trazables por medio de los oficios LM-IC-D-0208-18 del 22 de marzo de 2018, LM-IC-D-0870-19 del 16 de octubre de 2019 y LM-IC-D-0689-2021 del 11 de agosto de 2021, de estos dos últimos no se recibió ningún tipo de respuesta.

En cuanto al oficio LM-IC-D-0208 del 22 de marzo de 2018 se recibió un oficio por parte del CNC número CNC-ST -OF-1 085-2018 con fecha del 9 de noviembre del 2018 (8 meses después). En el análisis del contenido de este oficio se determinó que la información remitida respondía solo de forma parcial las consultas realizadas en ese momento por este laboratorio. No fueron resueltas las consultas hechas sobre los informes técnicos presentados por el Concesionario para el análisis y diseño de la solución que iba a ser implementada para resolver el problema de inestabilidad señalado, tampoco se obtuvo respuesta sobre los informes técnicos emitidos por la Supervisora del proyecto relativos a este particular, por lo que fue necesario insistir de forma reiterada en la solicitud de información en las evaluaciones posteriores.

La falta de respuesta a las solicitudes de información es considerada por este laboratorio, como un acto que limita seriamente el proceso de fiscalización que se realiza en cumplimiento de la Ley 8114.



### 3 OBJETIVOS DE LA EVALUACIÓN DEL PROYECTO EN CONCESIÓN SAN JOSÉ – CALDERA, AÑOS 2020 - 2021

#### 3.1 Objetivo General

Evaluar el desempeño del proyecto en concesión San José – Caldera, Ruta Nacional 27, en el plazo comprendido entre julio del 2020 y junio 2021, cuantificando de manera sistemática la evolución del mismo a lo largo del tiempo. Esta evaluación se realiza con el propósito de brindar a la Administración, información oportuna y confiable que permita complementar los controles de fiscalización que son también potestad del Estado.

#### 3.2 Objetivos Específicos

- Evaluar la resistencia estructural de los pavimentos construidos, con el *Deflectómetro de Impacto* y clasificarla según rangos de estado.
- Evaluar el estado de la regularidad superficial del pavimento del proyecto concesionado con el *Perfilómetro Láser*, y clasificarlo en rangos de estado.
- Evaluar el coeficiente de rozamiento de la superficie de los pavimentos en el proyecto concesionado, con los *Medidores de Coeficiente de Rozamiento*.
- Evaluar para la troncal y sus radiales la condición superficial de aquellos deterioros que puedan medirse adecuadamente a través de imágenes digitales georreferenciadas.
- Comparar las condiciones actuales con aquellas obtenidas en años anteriores de manera objetiva y técnica del estado del proyecto concesionado.
- Elaborar curvas de deterioro que permitan extrapolar la condición en que se podría encontrar la carretera en años futuros, según las tendencias obtenidas con base en las evaluaciones de la condición funcional realizadas a la fecha.
- Evaluar la condición de taludes, deslizamientos y sistemas de drenaje desde el punto de vista geológico y geotécnico, a partir de observaciones realizadas en vistas.
- Evaluar las condiciones de seguridad vial de la troncal y sus radiales desde el punto de vista de una movilidad segura de todos los usuarios viales.
- Mantener una base de datos actualizada de los parámetros técnicos del proyecto, que sea útil para la planificación de obras destinada al mejoramiento de la vía.



## 4 RESULTADOS OBTENIDOS DE LA EVALUACIÓN, AÑOS 2020 – 2021

### 4.1 Capacidad estructural, deflexiones obtenidas mediante el FWD, troncal principal

#### 4.1.1 Equipo utilizado y criterios de clasificación

Los detalles del *Deflectómetro de Impacto* utilizado, y la metodología seguida de evaluación aparecen en la Ficha Técnica *FT-UGERVN-02-13*, disponible en el sitio Internet del *LanammeUCR* ([www.lanamme.ucr.ac.cr](http://www.lanamme.ucr.ac.cr)).

La evaluación del proyecto abarcó la totalidad de su longitud, es decir aproximadamente 153 km (76,6 km en cada sentido)<sup>1</sup> de carretera pavimentada, con mediciones cada 50 metros. En aquellos tramos con sólo un carril por sentido, fueron evaluados ambos carriles; mientras que en aquellos tramos con dos o más carriles por sentido se evaluó el carril externo, considerándolo como el carril de diseño por ser el que resiste las mayores concentraciones de carga vehicular y, se considera homogeneidad de la condición estructural en el sentido transversal de las secciones evaluadas.

Como parte de las investigaciones realizadas en el año 2008, en el *LanammeUCR* se desarrolló una metodología para calcular los distintos rangos de deflectometría, con base en la estructura de pavimento que presenta cada tramo de carretera<sup>2</sup>. Estos rangos, mostrados en la Tabla 1, tienen por objeto calificar la condición estructural del proyecto considerando el diseño estructural realizado por el Concesionario, por lo que fueron utilizados en la presente evaluación para clasificar los resultados.

Tabla 1. Rangos de deflexión, utilizados para clasificar los datos de deflectometría del proyecto

Tramo	San José - Escazú (0+000 – 3+605)	Escazú – Ciudad Colón (3+605 – 14+025)	Ciudad Colón - Orotina (14+025 – 51+720)	Orotina - Caldera (51+720 – 76+310)
<b>Categorías deflexión</b>	<b>Rangos (en mm<sup>-3</sup>)</b>			
<i>Bajas</i>	menor a 520	menor a 360	menor a 470	menor a 500
<i>Moderadas</i>	520 – 570	360 – 400	470 – 520	500 – 580
<i>Altas</i>	570 – 710	400 – 490	520 – 660	580 – 800
<i>Muy Altas</i>	mayor a 710	mayor a 490	mayor a 660	mayor a 800

#### 4.1.2 Resultados obtenidos, mes de septiembre del 2020

La Tabla 2 muestra los resultados obtenidos por medio del deflectómetro de impacto en el sentido San José - Caldera, para la campaña de evaluación 2020 – 2021; la Figura 2 muestra en forma gráfica este resultado.

<sup>1</sup> Dentro de esta longitud no se incluye la longitud de las cinco radiales.

<sup>2</sup> El informe *Determinación de Rangos de Clasificación para la Red Vial Nacional, UI-PE-03-08*, del LanammeUCR explica la metodología para establecer los rangos de *FWD* e *IRI* para clasificar el proyecto. Los rangos de *FWD* fueron calculados específicamente para esta ruta, tomando en consideración las distintas estructuras del pavimento.



Tabla 2. Deflexiones FWD obtenidas para el sentido San José - Caldera, campaña 2020-2021

Tipo de Deflexiones	Longitud (km)	Porcentajes (%)
Bajas	70	90,11
Moderadas	3	3,90
Altas	4	5,19
Muy Altas	0	0,0
<b>Total</b>	<b>77</b>	<b>100</b>

Deflexión en Estructural de Pavimento San José - Caldera, 2020-2021

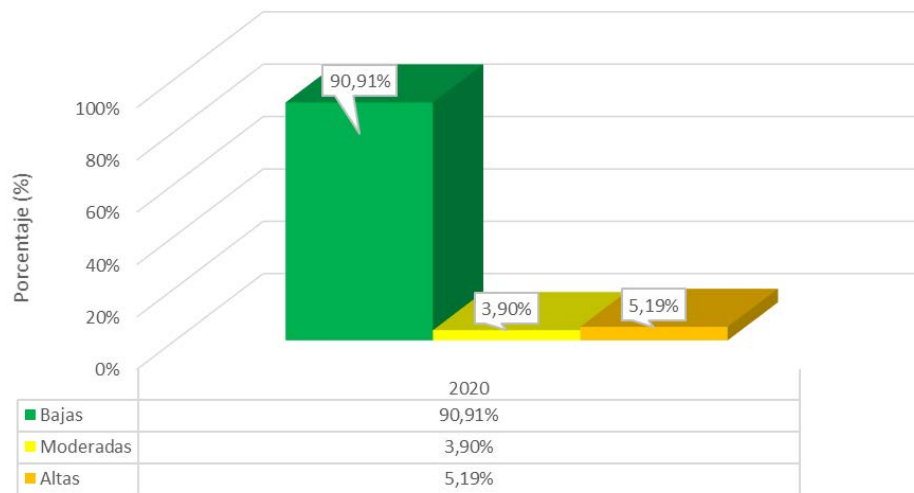


Figura 2. Estado general de la capacidad estructural por medio de deflexiones en sentido San José – Caldera, campaña 2020 – 2021

En la Figura 3 se muestra la ubicación geográfica de algunos tramos que cuentan con valores de deflectometría entre moderados y altos, para el sentido de San José – Caldera.

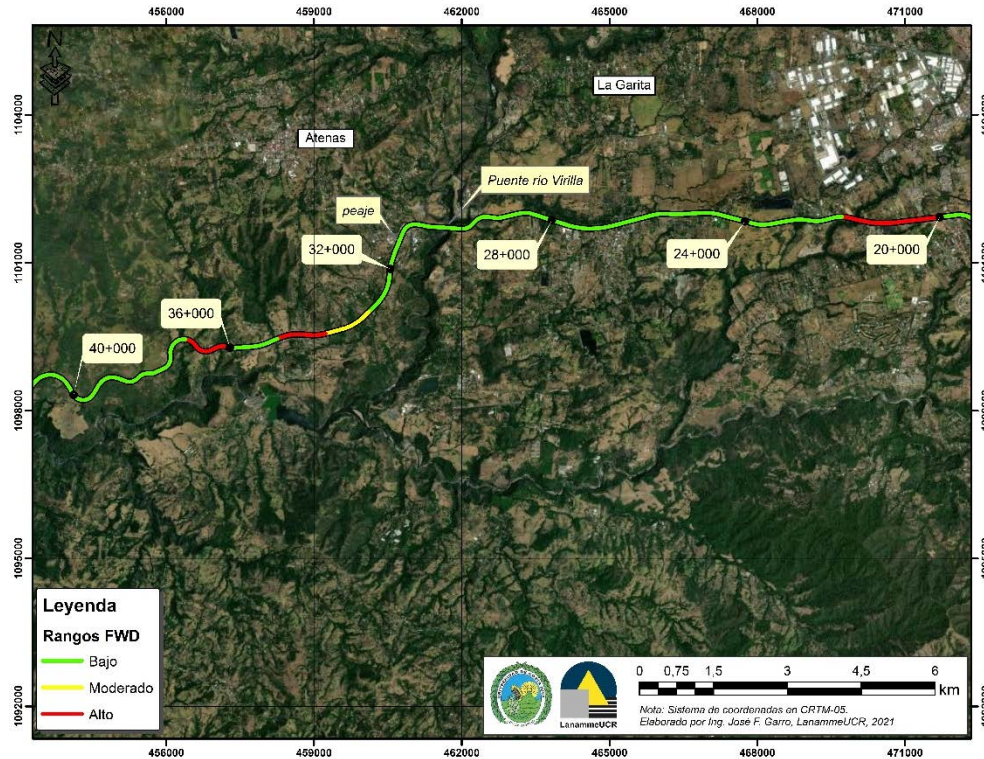


Figura 3. Ubicación de algunos tramos con deflexiones moderados y altas, sentido San José - Caldera.

La Tabla 3 muestra los resultados obtenidos en este parámetro para el sentido de Caldera – San José; la Figura 4 muestra en forma gráfica este resultado.

Tabla 3. Deflexiones FWD obtenidas para el sentido Caldera – San José, campaña 2020-2021

Tipo de Deflexiones	Longitud (km)	Porcentajes (%)
Bajas	68	88,31
Moderadas	6	7,79
Altas	2	2,60
Muy Altas	1	1,30
<b>Total</b>	<b>77</b>	<b>100</b>



Deflexión en Estructural de Pavimento Caldera - San José, 2020-2021

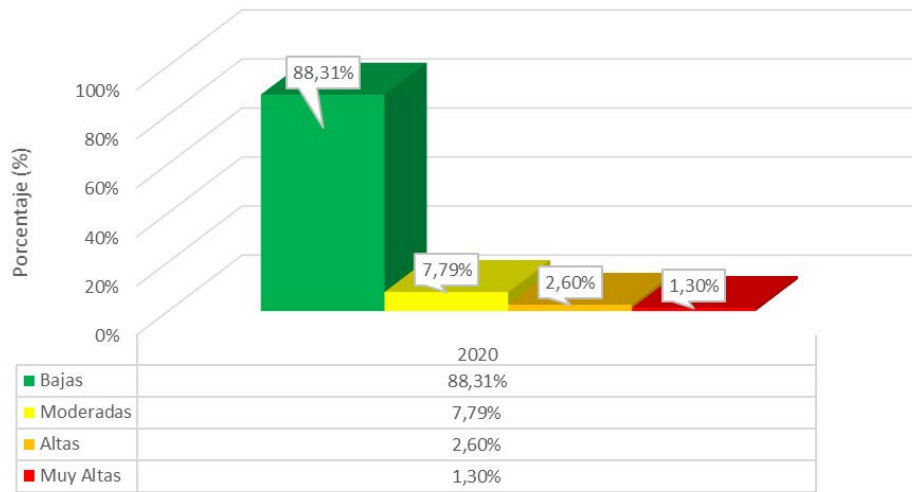


Figura 4. Estado general de la capacidad estructural sentido Caldera – San José, según los valores de deflexión FWD obtenidos, campaña 2020 – 2021

En la Figura 5 se muestra la ubicación geográfica de tramos con deflexiones en el rango de moderadas, para el sentido Caldera - San José.

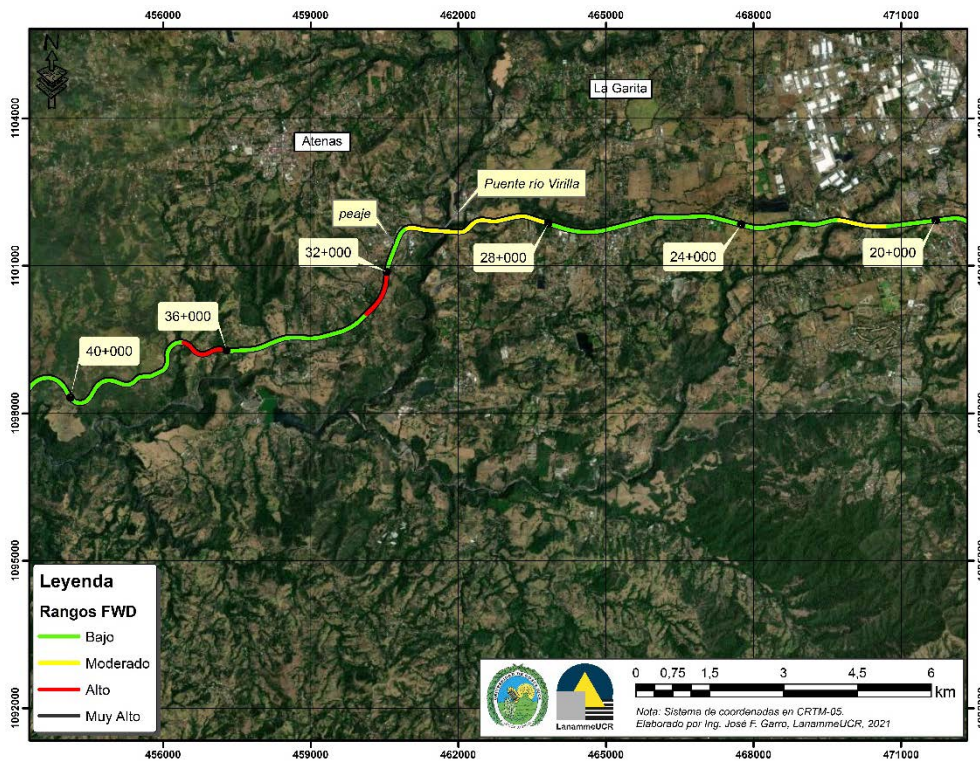


Figura 5. Ubicación de algunos tramos con deflexiones altas, sentido Caldera – San José.



#### 4.1.3 *Análisis general de resultados de la evaluación de la capacidad estructural con el ensayo de deflectometría*

De los resultados obtenidos a partir de la prueba realizada con el *Deflectómetro de Impacto*, se puede observar que alrededor de un 92% de la estructura del pavimento en el Sentido San José – Caldera y poco más de un 88% en el Sentido Caldera – San José cuenta con muy buena capacidad para soportar las cargas del tránsito que circulan por ella, puesto que presenta deflexiones bajas. Esta valoración estructural representa la condición de soporte del pavimento al momento de realizar la medición, es decir entre el 31 de agosto y el 28 de setiembre del año 2020. Los cambios de temperatura en la superficie del pavimento y las variaciones en los niveles de humedad en las capas inferiores durante la época lluviosa, pueden generar variaciones significativas en los valores obtenidos a la hora de medir la capacidad estructural del proyecto. Este efecto puede ser valorado a lo largo del tiempo en evaluaciones posteriores.

En términos generales la troncal principal presenta una buena capacidad estructural en ambos sentidos, una de las ventajas de contar con estas evaluaciones de tipo no destructivas consistente en la posibilidad de ubicar espacialmente con mucha precisión los tramos donde se detecta pérdida de capacidad estructural. Es muy conveniente realizar intervenciones oportunas de los sitios donde se detecta esta pérdida de capacidad ya que esta condición suele progresar mostrando deterioros superficiales que afectan el flujo vehicular, así como la seguridad de los usuarios y además, resulta en una enorme pérdida del patrimonio vial del proyecto.

#### 4.2 **Capacidad funcional, condición según regularidad superficial (IRI), troncal principal**

##### 4.2.1 *Equipo utilizado y criterios de clasificación*

Los detalles del *Perfilómetro Láser* utilizado, y la metodología seguida de evaluación aparecen en la ficha técnica *FT-UGERVN-02-13*, disponible en el sitio de Internet del *LanammeUCR* ([www.lanamme.ucr.ac.cr](http://www.lanamme.ucr.ac.cr)).

La evaluación del proyecto con este equipo abarcó la totalidad de la longitud de la ruta. Debido a la importancia del IRI para calificar la calidad de un proyecto vial, se midió el perfil longitudinal en los dos sentidos.

Es importante recordar que el IRI se correlaciona, entre otros factores, con los costos de operación vehicular, la movilidad de los usuarios y su confort. Los rangos de clasificación de la regularidad superficial en pavimentos, se muestran en la Tabla 4:



Tabla 4. Rangos de clasificación del Índice de Regularidad Internacional (IRI)

Rango de regularidad m / km	Clasificación
menor a 1,0	regularidad superficial muy buena
entre 1,0 y 1,9	regularidad superficial buena
entre 1,9 y 3,6	regularidad superficial regular
entre 3,6 y 6,4	regularidad superficial deficiente
mayor a 6,4	regularidad superficial muy deficiente

Fuente: *Determinación de rangos de clasificación para la Red Vial Nacional, UI-03-08, LanammeUCR, 2008*

Los datos del perfil longitudinal están procesados en tramos de 100 metros de longitud, y representa el promedio de las medidas de los sensores izquierdo y derecho del *perfilómetro*, que se hacen coincidir con la huella de los vehículos. Se excluye los elementos que se consideran como singularidades por medio de análisis estadísticos, los cuales se definen como:

*“Cualquier alteración del perfil longitudinal del camino que no provenga de fallas constructivas y que incremente el valor del IRI en el tramo en que se encuentra. Entre ellas se pueden citar puentes, badenes, tapas de alcantarillas, cuñas, cruces de calles y otras, que por diseño geométrico alteren el perfil del camino”<sup>3</sup>*

#### 4.2.2 Resultados del Índice de Regularidad Internacional (IRI)

La Tabla 5 muestra los resultados obtenidos en la evaluación de la regularidad superficial del proyecto en el mes de agosto del 2020; las Figura 6 y Figura 7 muestran en forma gráfica la evaluación para este periodo, en cada sentido de circulación.

Tabla 5. Resultados obtenidos en regularidad superficial, Ruta 27

Rango IRI ( <sup>m</sup> /km)	Sentido			
	San José – Caldera		Caldera – San José	
menor a 1,0	0 km	0,0 %	0 km	0,0 %
entre 1,0 y 1,9	28 km	36,36 %	27 km	35,06 %
entre 1,9 y 3,6	49 km	63,64 %	50 km	64,94 %
entre 3,6 y 6,4	0 km	0,0 %	00 km	0,00 %
mayor a 6,4	0 km	0,0 %	0 km	0,00 %
<b>Total</b>	<b>77 km</b>	<b>100 %</b>	<b>77 km</b>	<b>100 %</b>

<sup>3</sup> El informe *Determinación de un procedimiento de ensayo para Cálculo del IRI, UI-03-08*, del LanammeUCR explica la metodología para el cálculo de *IRI* y parámetros a considerar en el análisis de este indicador





### Capacidad Funcional San José - Caldera, 2020-2021

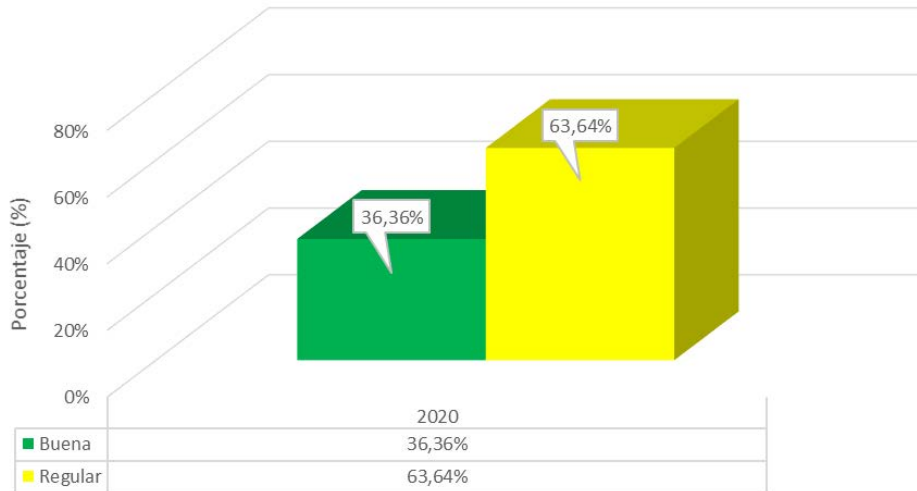


Figura 6. Resultados obtenidos en el parámetro IRI, sentido San José – Caldera

### Capacidad Funcional Caldera - San José, 2020-2021

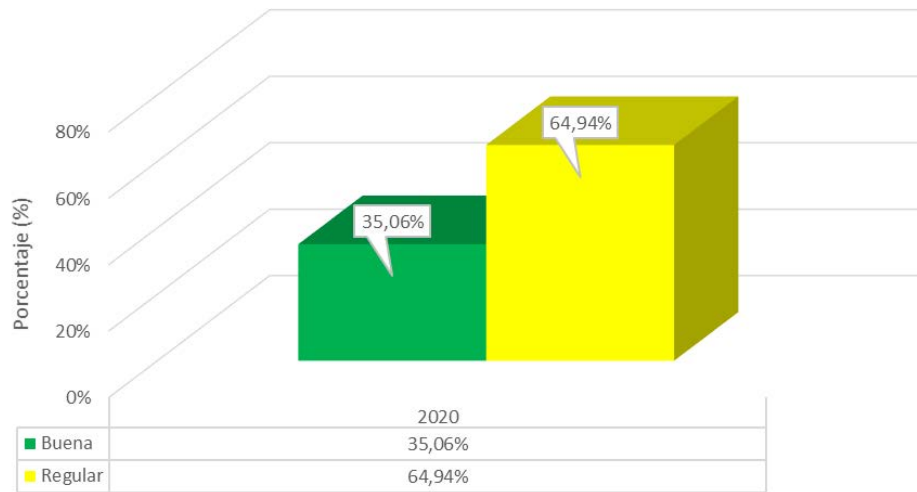


Figura 7. Resultados obtenidos en el parámetro IRI, sentido Caldera – San José

En la Figura 8 se muestran algunos tramos que cuentan con una condición funcional regular, para ambos sentidos de la ruta.

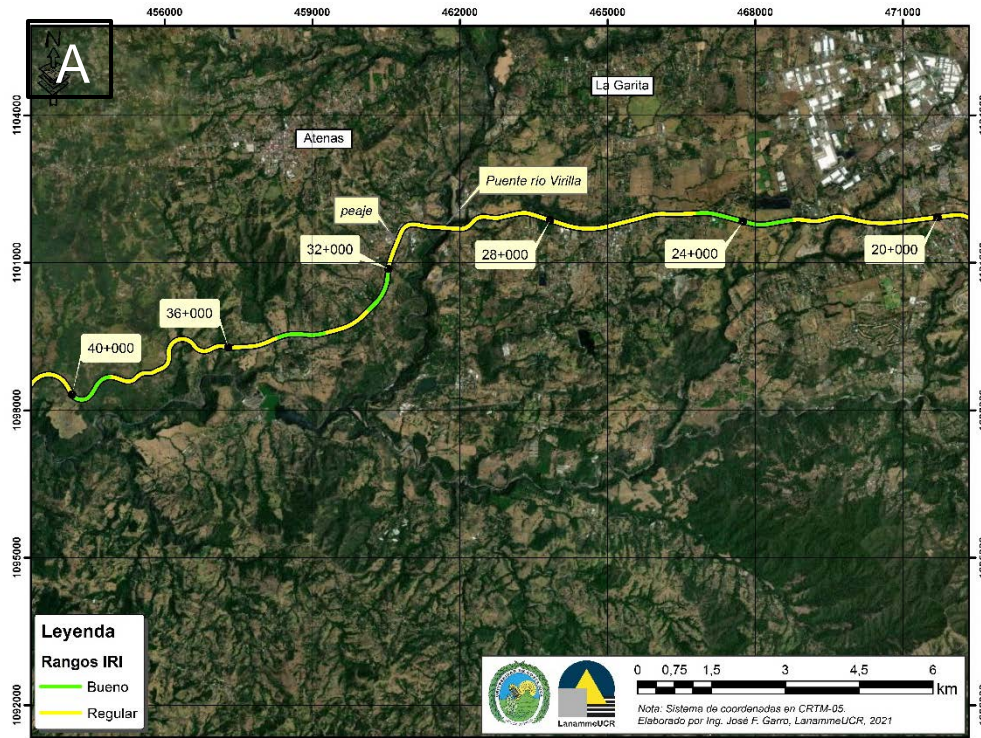


Figura 8. Ubicación de tramos con un IRI entre moderado y bajo. A) sentido San José - Caldera, B) sentido Caldera - San José



En el Anexo 2 se muestran los mapas con la ubicación geográfica de los valores de IRI según su categoría.

#### 4.2.3 *Análisis general de resultados de la evaluación de la capacidad funcional con el Perfilómetro Láser.*

Con base en los valores obtenidos para este parámetro, un porcentaje importante (51,95% y 50,65% San José – Caldera y Caldera – San José respectivamente) de la longitud del proyecto evaluado, presenta valores de *IRI* en condición regular, lo cual como se ha mencionado en informes anteriores, además de influir de manera negativa en los costos de operación de la flota vehicular, incide de cierta manera en la estructura del pavimento, acelerando su deterioro. Como se mostrará en el apartado 4.4 Análisis de Notas de Calidad Q, troncal principal, años 2020 – 2021, con actividades de bajo impacto y costo, es posible mantener y mejorar los valores que se obtienen con este indicador.

### 4.3 **Resultados obtenidos del coeficiente de rozamiento de pavimentos, troncal principal**

#### 4.3.1 *Equipo utilizado y criterios de clasificación*

Para esta campaña de evaluación, se utilizaron 2 equipos para estudiar el agarre superficial que presenta el pavimento de la ruta por medio del coeficiente de fricción, los cuales se muestran a continuación.

##### 4.3.1.1 *Grip Tester*



Figura 9. Grip Tester

La evaluación de la Ruta Nacional No. 27 con este equipo abarcó la totalidad de la superficie pavimentada de la troncal principal, en ambos sentidos. Todas las mediciones se realizan a una velocidad promedio de 50 km/hora  $\pm$ 5 km/hora, en condición húmeda (condición crítica).



El rango de clasificación que se utilizó para evaluar la resistencia al deslizamiento, es utilizado a nivel internacional, y relaciona los valores del *Grip Number* (GN) con el nivel de deslizamiento como se muestra en la Tabla 6.

Tabla 6. Clasificación internacional del pavimento según el GN

GN	Condición	Nivel			Tipo de Pavimento característico
		Deslizamiento	Peligrosidad	Riesgo medio de accidentabilidad*	
< 0,50	Malo	Muy deslizante	Muy peligroso	mayor a 20	Pavimento flexible compuesto de agregado calizo o pulido
0,50 – 0,60	Regular	Deslizante	Peligroso	16 a 20	Pavimento flexible con alto grado de exudación y/o pérdida de micro textura
0,60 – 0,78	Bueno	Poco deslizante	Moderado	10 a 16	Pavimento rígido y flexible con buena textura
> 0,78	Muy Bueno	No deslizante	Seguro	menor a 10	Pavimento nuevo o sobrecapas con buen agarre

\* Número de accidentes por cada millón de vehículos / kilómetro, en función del coeficiente de fricción, obtenidos en Gran Bretaña, según memorias del 5to Simposio de Características Superficiales de Pavimentos, Toronto, Canadá, 2004.

#### 4.3.1.2 Mu Meter



Figura 10. Mu Meter

El *MuMeter* es usado principalmente para medir el coeficiente de rozamiento en pistas de aeropuertos por medio de la reacción de una celda de carga en respuesta a la fuerza de desviación que generan 2 ruedas que cuentan con un ángulo de desviación de 7° respecto al eje central del equipo. Es por esta razón que su uso en redes viales no es



común; los resultados obtenidos con este equipo no son comparables con aquellos obtenidos con el *GripTester*<sup>4</sup>.

#### 4.3.2 Resultados de coeficiente de rozamiento con el *GripTester* y *MuMeter*

En total, se evaluaron y procesaron con el *GripTester* más de 30,000 secciones de 5 metros de longitud, las cuales se agruparon en datos por kilómetro para tener una mejor representación y control de los datos. Los resultados de las mediciones obtenidas para este proyecto en ambos sentidos San José – Caldera, Caldera – San José se presentan respectivamente en la Tabla 7 y Figura 11 y Figura 12.

Se debe aclarar que para los resultados del *GripTester* existen rangos de estado (ver Tabla 6), lo cual no es el caso con los resultados obtenidos del *MuMeter*, debido a lo mencionado, anteriormente, sobre su uso poco común en redes viales. Por ello, se remite a lo indicado en el contrato de la concesión, para definir si se encuentra dentro de los parámetros estipulados en él, o fuera de ellos.

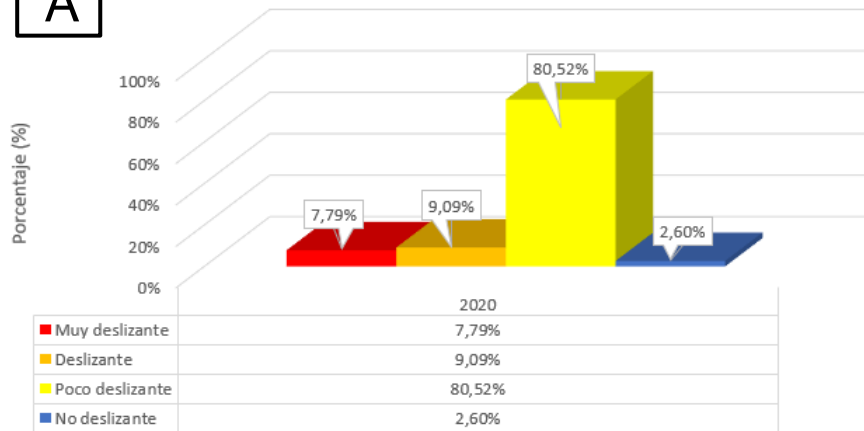
Tabla 7. Resultados obtenidos con el *GripTester*

Sentido	Longitud en cada rango (km), %								Total (km)
	Muy Deslizante		Deslizante		Poco Deslizante		No Deslizante		
	km	%	km	%	km	%	km	%	
San José – Caldera	6	<b>7,79</b>	7	<b>9,09</b>	62	<b>80,52</b>	2,60	<b>2</b>	77
Caldera – San José	8	<b>10,39</b>	13	<b>16,88</b>	56	<b>72,73</b>	0	<b>0,0</b>	77

<sup>4</sup> El *GripTester* posee sólo una rueda con la que se mide la fricción de la superficie de ruedo, la cual se coloca sobre una de las huellas de los vehículos. Con el *MuMeter* esto no es posible, dado que mientras una de sus ruedas medidoras se coloca sobre la huella, la otra rueda medidora siempre se encontrará fuera de esta, lo que genera variaciones en los resultados obtenidos.

**Coeficiente Rozamiento GN San José - Caldera, 2020-2021**

**A**



**Coeficiente Rozamiento Mu San José - Caldera, 2020-2021**

**B**

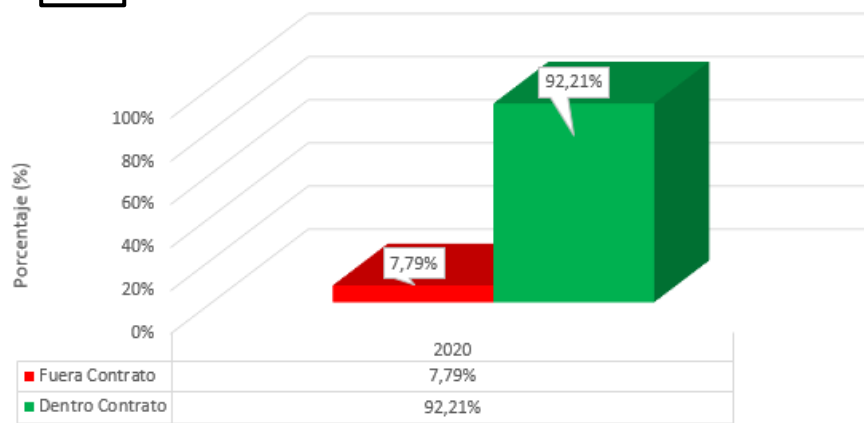
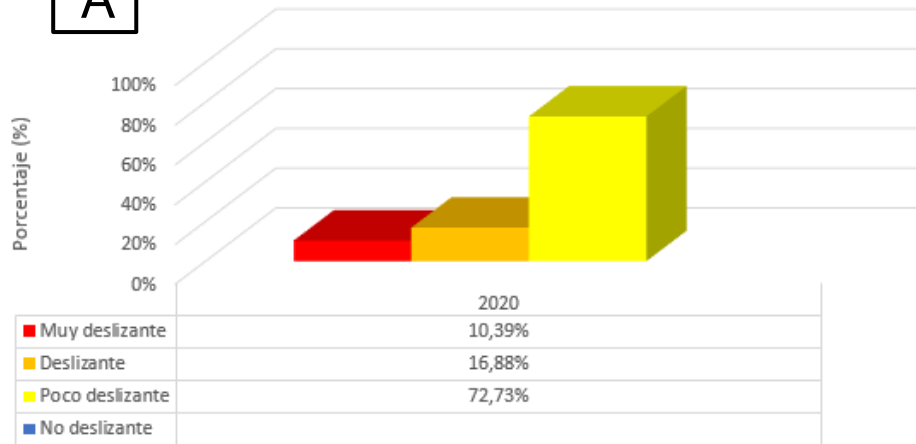


Figura 11. Resultados de las pruebas de A) Grip Tester y B) MuMeter. Los rangos del Mu Meter corresponden a los indicados en el contrato.

### Coeficiente Rozamiento GN Caldera - San José , 2020-2021

A



### Coeficiente Rozamiento Mu Caldera - San José, 2020-2021

B

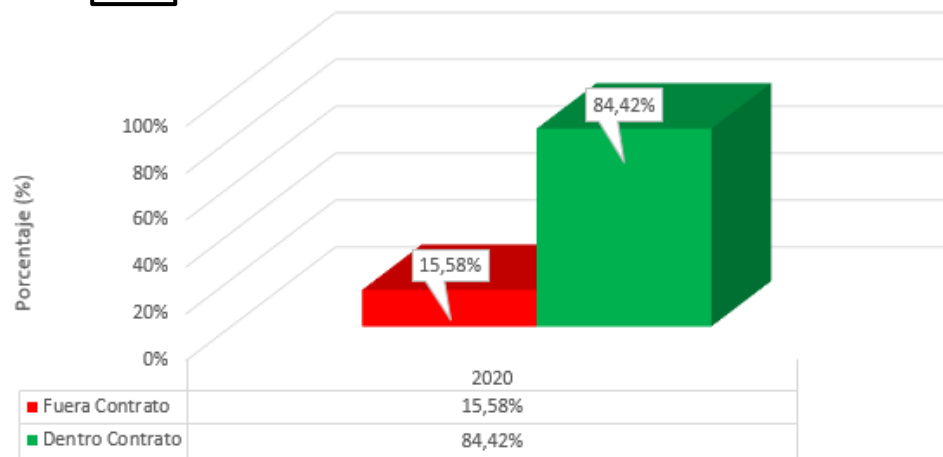


Figura 12. Resultados de las pruebas de a) Grip Tester y b) Mu Meter.  
Nota: Los rangos del Mu Meter corresponden a los indicados en el contrato.

En la Figura 13 se muestra la ubicación geográfica de algunos tramos con valores bajos de fricción, según el análisis realizado con el *GripTester*.



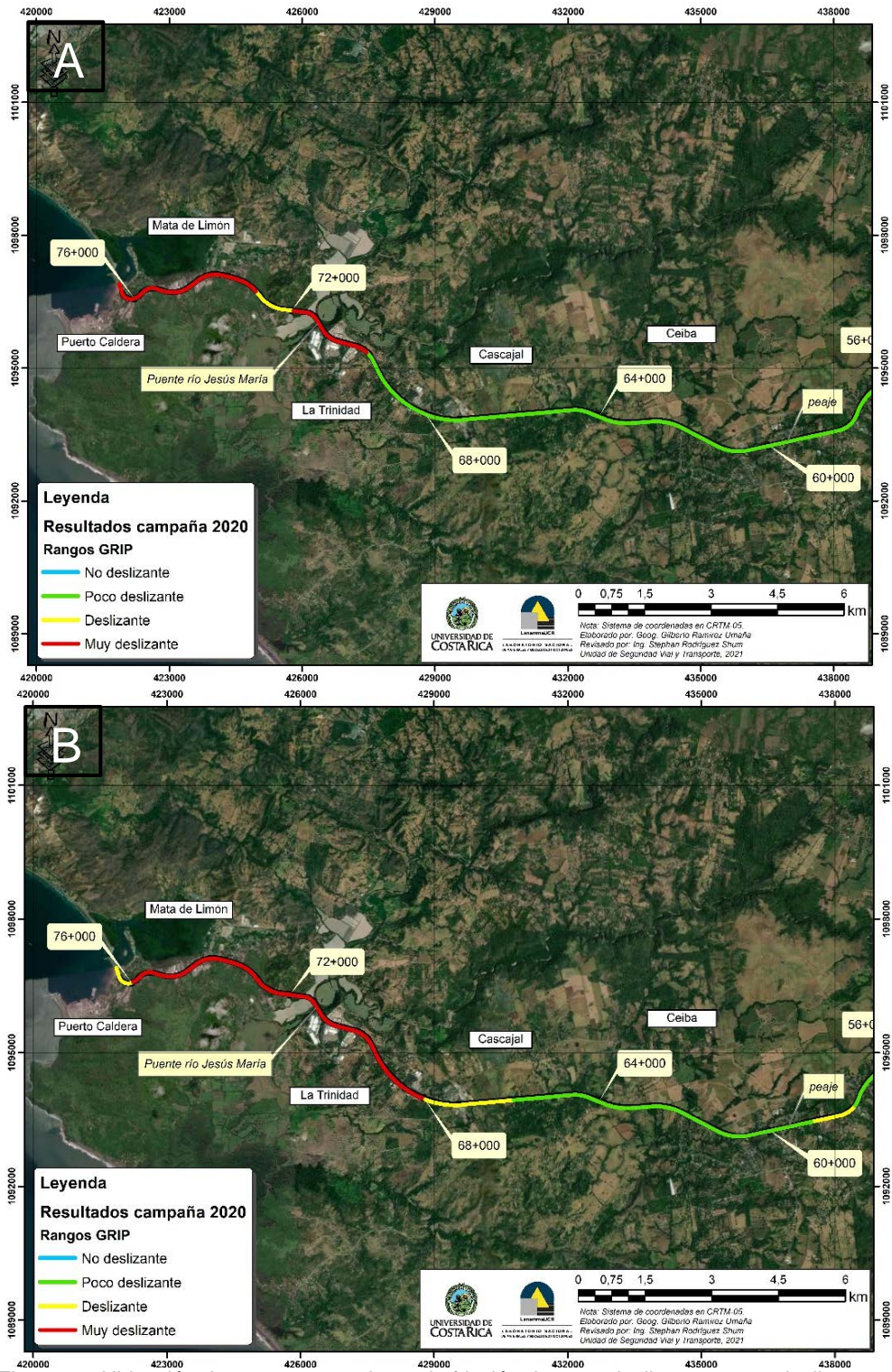


Figura 13. Ubicación de tramos con valores de fricción de poco deslizante a muy deslizante. A) sentido San José – Caldera, B) Caldera – San José





En el Anexo 3 se muestran los mapas de ubicación por kilómetro de los valores de fricción obtenidos.

#### 4.3.3 *Análisis general de resultados de la evaluación de la resistencia al deslizamiento*

Para el caso del *MuMeter*, se utilizan los valores límites indicados en el contrato<sup>5</sup>, donde se especifica que para pendientes mayores del 6% y en intersecciones, el valor mínimo es de 0,55 mientras que, para tramos rectos con pendientes menores al 6% el valor mínimo es de 0,45<sup>6</sup>.

Analizando los resultados obtenidos para el sentido San José – Caldera se puede observar que alrededor del 8 % de la longitud no cumple con los parámetros que se indican en el contrato para este indicador y en el sentido Caldera – San José alrededor de un 16 % de la longitud no cumple con los rangos indicados en el contrato.

En la Figura 14 se muestra los tramos donde hay mayor presencia de valores que incumplen con los rangos indicados en el contrato.

---

<sup>5</sup> *Contrato Concesión de la carretera San José - Caldera, apartado "2.15.2 Indicadores para Pavimento Asfáltico, inciso f. Resistencia al resbalamiento (m)", donde el MuMeter se denomina como Miu-meter.*

<sup>6</sup> *Es necesario aclarar que estos rangos deben ser revisados en el contrato ya que este equipo no se ve afectado por los cambios de pendiente de la carretera.*

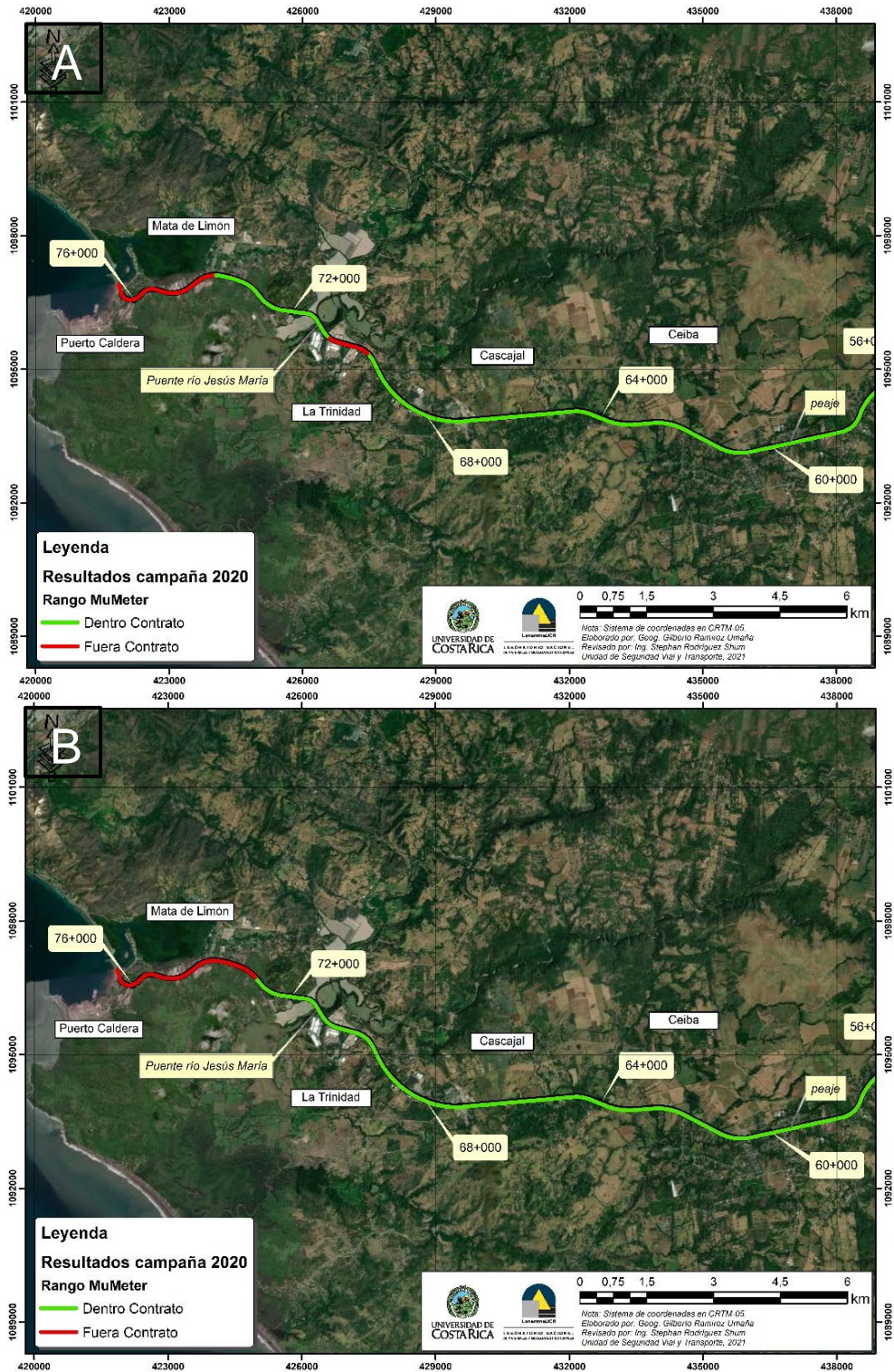


Figura 14. Ubicación de tramos con valores de fricción que cumplen o incumplen con el contrato. A) sentido San José – Caldera, B) sentido Caldera – San José



Por su parte, los resultados obtenidos con el *GripTester* muestran que alrededor del 8 % de la longitud de la ruta en el sentido San José – Caldera presenta condiciones Deslizantes y un 9 % muestra condiciones Muy Deslizantes. Por su parte, en el sentido Caldera – San José, un 10 % de la longitud cuenta con una condición Muy Deslizante y un 17 % una condición Deslizante.

Es así como, con el *GripTester* se identifican zonas donde puede aumentar la probabilidad de que ocurran choques viales al presentar coeficientes de fricción bajos, además se evidencian diferencias de criterio entre el porcentaje de vía que presenta condiciones muy deslizantes y deslizantes, contra los tramos que contractualmente cumplen con el *MuMeter*.

#### 4.4 Análisis de Notas de Calidad Q, troncal principal, años 2020 – 2021

Para la definición de las Notas de Calidad Q, se clasifica las unidades de análisis según la condición estructural (FWD), funcional (IRI) y de resistencia al deslizamiento (GN). Posteriormente, para cada de estas unidades de análisis, se combinan los resultados obtenidos de los indicadores que se mostraron anteriormente y se define una nueva calificación, conocida como Nota de Calidad (Nota Q), donde se establece el diagnóstico final de la condición de la sección y permite establecer una estrategia general de intervención final, tal como se muestra en la Figura 15.

INDICADOR ESTRUCTURAL		CATEGORIAS DE FWD			
		BAJAS	MODERADA	ALTAS	MUY ALTAS
INDICADOR FUNCIONAL		▼	▼	▼	▼
Rangos de IRI (m/Km)	< 1,9 (Bueno)	Q1	Q3	Q6	R-1
	1,9 – 3,6 (Regular)	Q2	Q5	Q8	R-2
	3,6 – 6,4 (Malo)	Q4	Q7	Q9	R-3
	> 6,4 (Muy Malo)	M-RF	RH-RF	R-3	NP

Figura 15. Distribución de las Notas de Calidad Q para la troncal principal. A) San José – Caldera, B) Caldera – San José

La definición de las notas de calidad es la siguiente:

**Q1:** Esta es la condición ideal de un pavimento desde el punto de vista estructural y funcional. Son pavimentos que se encuentran en un estado temprano de su vida útil y que brindan un buen servicio al usuario, mantienen altos niveles de servicio y bajos costos de operación vehicular. A pesar de esta condición estos pavimentos deben ser evaluados para identificar la presencia de deterioros que puedan afectar la seguridad vial tales como desprendimientos, desnudamiento o exudaciones, los cuales no constituyen deterioros estructurales o de regularidad que puedan ser percibidos por el perfilógrafo (IRI) o por la





deflectometría de campo. Estos pavimentos son candidatos a intervenciones de tipo mantenimiento de preservación de bajo costo.

**Q2:** En estos pavimentos la capacidad estructural sigue siendo muy buena, sin embargo, el nivel de regularidad superficial se ha desplazado a una condición regular donde la calidad del manejo es notablemente inferior a la de los pavimentos nuevos y se pueden presentar problemas para altas velocidades de tránsito. Los defectos superficiales en los pavimentos flexibles pueden incluir deformaciones en la mezcla asfáltica, baches reparados y agrietamientos de severidad baja. Estos pavimentos son candidatos a intervenciones de tipo mantenimiento de preservación de bajo costo, enfocadas en corregir la pérdida de capacidad funcional.

**Q3:** En estos pavimentos se presenta una pérdida de la capacidad estructural (20 – 60% de vida estructural remanente), aunque la capacidad funcional (IRI) se mantiene entre buena y muy buena. En estos casos, la presencia de deterioros funcionales tales como desprendimientos, desnudamiento o exudaciones, los cuales no constituyen deterioros estructurales que puedan ser percibidos por el perfilógrafo (IRI) o por la deflectometría de campo, pueden tener un mayor nivel de severidad o extensión. Estos pavimentos son candidatos a intervenciones de tipo mantenimiento de preservación de bajo costo, enfocadas a atender la pérdida de capacidad estructural y detener o retardar su avance.

**Q4:** En estos pavimentos la calidad de la superficie asfáltica se ha deteriorado hasta un punto donde puede afectarse la velocidad de tránsito, aún en condiciones de flujo libre. Los pavimentos flexibles pueden tener grandes baches y grietas profundas; el deterioro incluye pérdida de agregados, agrietamientos y ahuellamientos y ocurre en un 50% o más de la superficie. Aunque la capacidad estructural es buena (se mantiene una buena condición de las capas de subyacentes) la condición de deterioro funcional es de tal severidad que la durabilidad de los pavimentos se disminuye, aumentando la tasa de deterioro estructural de forma elevada. Debido al deterioro de la capa de ruedo estos pavimentos pasarán a las categorías M-RF o Q7 en el mediano plazo. Estos pavimentos son candidatos a intervenciones de tipo mantenimiento de mediano costo que deberían estar enfocadas a atender la pérdida de capacidad funcional en el corto plazo.

**Q5:** Estos pavimentos deben ser sujetos de análisis más detallado a nivel de proyecto por encontrarse en una condición de capacidad estructural y funcional intermedia.

**Q7:** Los pavimentos en esta categoría tienen una condición de ruedo similar a los descritos para la categoría Q4, sin embargo, presentan una peor condición estructural (cercana al 60% de vida estructural remanente del pavimento), por lo que la presencia de deterioros como ahuellamientos, agrietamiento por fatiga o agrietamientos transversales y longitudinales es mayor. En estos pavimentos la velocidad del deterioro estructural y funcional se intensifica, por lo que están propensos a pasar a las categorías RH-RF o Q9 en el mediano plazo. Estos pavimentos presentan tramos candidatos a intervenciones de



tipo “rehabilitación menor” que deberían estar enfocadas en recuperar la pérdida de capacidad funcional en el mediano plazo con el fin de evitar o retardar un mayor deterioro de la capacidad estructural.

**Q6, Q8 y Q9:** Estos pavimentos presentan una condición estructural muy deficiente (vida estructural remanente < 20%). En este grupo de notas de calidad, en el caso de los tramos calificados como Q6 por ejemplo, donde la calidad del ruedo es buena se debe a la presencia de sobrecapados o tratamientos superficiales recientes pero que no han contribuido a dar aporte estructural significativo, por lo tanto, son trabajos de poca durabilidad y existe una alta probabilidad de una rápida migración a notas como las Q8 y Q9 donde la capacidad funcional es peor, así como a notas como R-1 donde la capacidad estructural remanente es cercana al 0% de vida útil. La condición de pérdida acelerada de la capacidad estructural y funcional en estos pavimentos, los convierte en candidatos a intervenciones de tipo rehabilitación mayor que debería ser atendida en el corto plazo.

Con base en los datos obtenidos en la evaluación de la condición estructural y funcional, se procedió a calcular las Notas de Calidad Q en tramos de un kilómetro de longitud en la troncal principal, para ambos sentidos (Figura 17). Los resultados muestran de manera general un pavimento en buenas condiciones tanto desde el punto de vista estructural como funcional dado que, en ambos sentidos, alrededor de un 95% de su longitud se encuentra en las notas Q1 y Q2. Sin embargo, resalta que en el sentido San José – Caldera, alrededor de un 4% de longitud presenta una nota de Q5 y un 5% en el sentido Caldera – San José, condición que se presenta debido a los valores de deflectometría Moderados y de IRI en el rango de regular. Adicionalmente, se detectan tramos que presentan una nota de Q6 es decir Rehabilitación Mayor (Ver Figura 16) (que representan alrededor del 1%) se caracteriza por valores de deflectometría altos, que caracteriza una estructura de pavimento que presenta una disminución en su capacidad estructural.

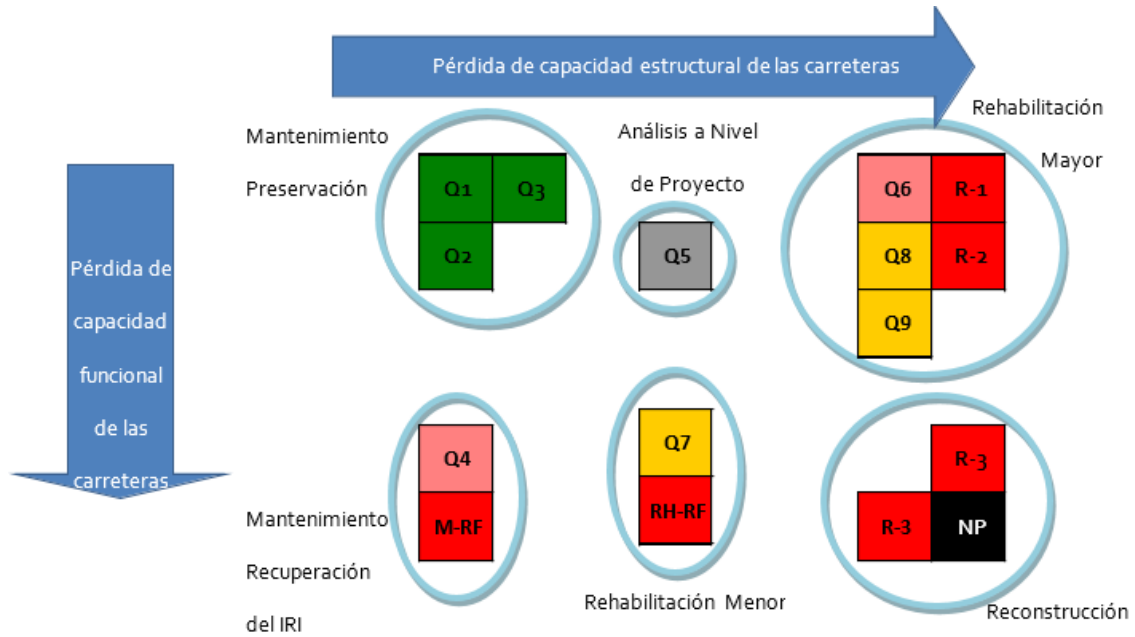
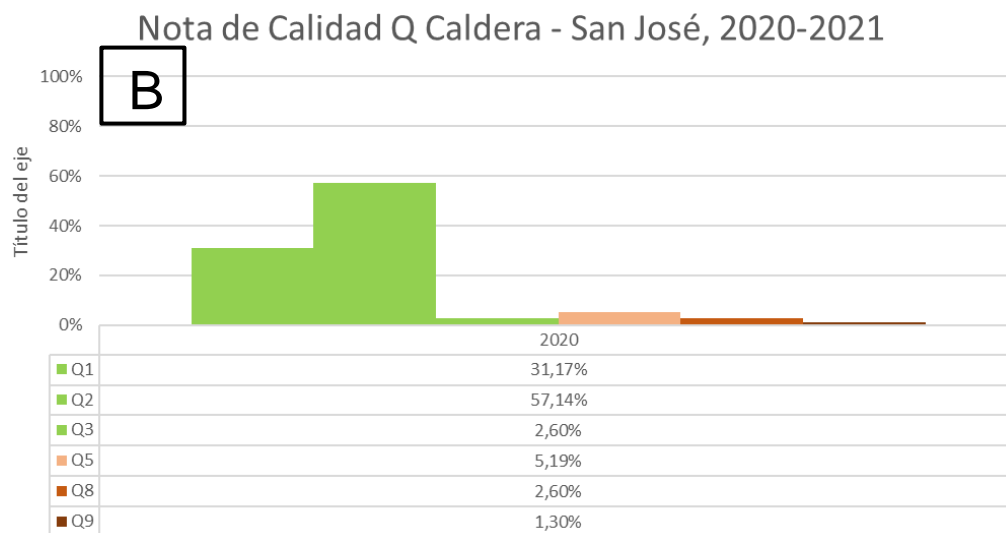
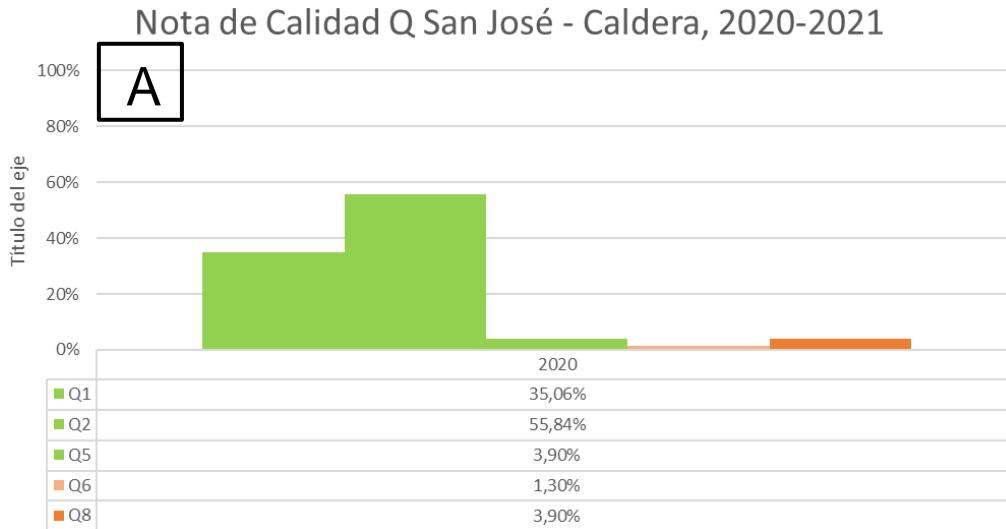


Figura 16. Agrupación de las notas de calidad para definición de estrategias generales de intervención  
Fuente: Sanabria-Sandino, Barrantes-Jiménez, & Loría-Salazar, 2011





b)

Figura 17.: Distribución de las Notas de Calidad Q para la troncal principal. A) San José – Caldera, B) Caldera – San José

En la Figura 18 se muestran ejemplos de la ubicación de tramos con diversas Notas de Calidad Q.

En el Anexo IV se muestran los resultados obtenidos en este parámetro, según su ubicación geográfica.

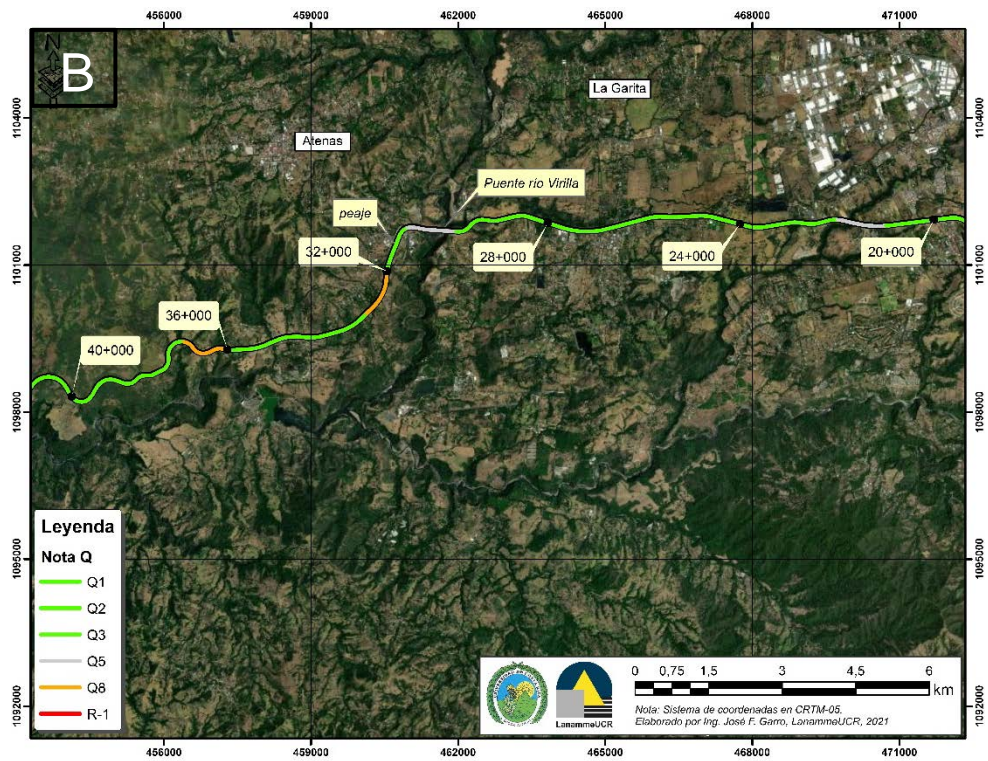
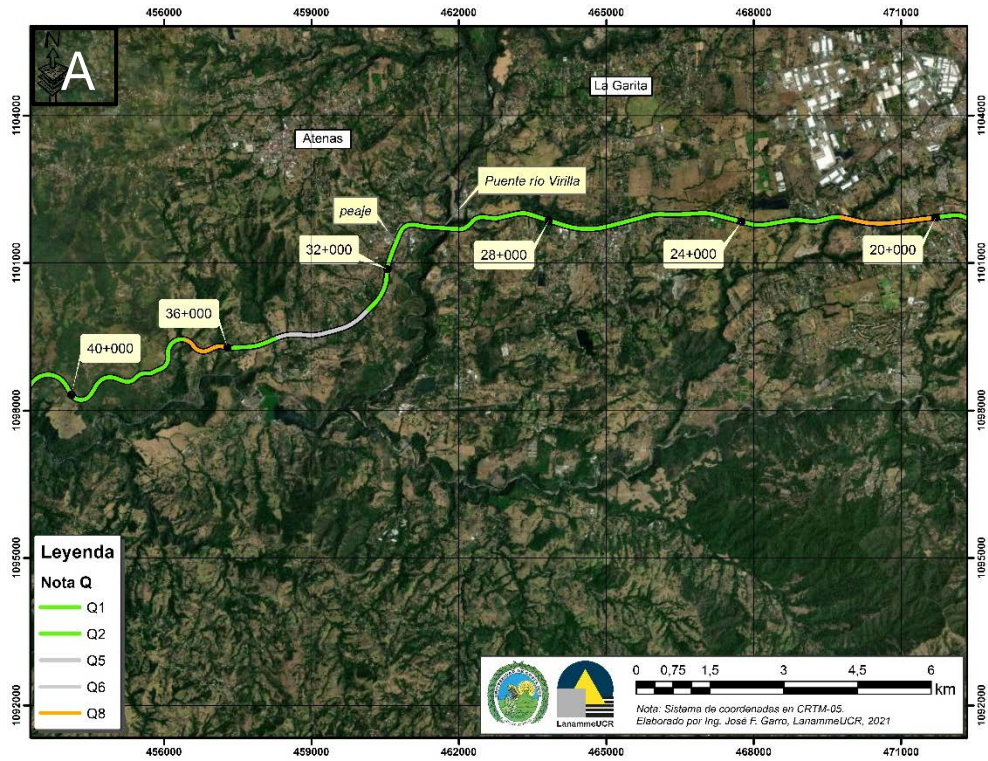


Figura 18. Ubicación de tramos con Notas de Calidad entre Q1 – Q6, y R1. A) Sentido San José – Cadera, B) sentido Caldera – San José.



Debido al nivel de agarre Poco Deslizante, según el Grip Tester, que presenta un porcentaje importante de la longitud del proyecto, 80,52% sentido San José-Caldera y 72,73% sentido Caldera-San José (ver Sección 4.3 Resultados obtenidos del coeficiente de rozamiento de pavimentos, troncal principal), las *Estrategias de Intervención* (ver Figura 19) a realizar se enmarcan en labores de recuperación de la textura superficial de la ruta, tales como tratamientos superficiales, que buscan obtener mejores niveles de agarre superficial. Los resultados de las estrategias obtenidas, se muestran en la Figura 20.

Grip Number	Posibilidades de Intervención en función de la Nota Q		
	Q1	Q2	Q3
> 0,78	N.I.	N.I.	SS ChS1 (TS1)
0,6 - 0,78	N.I.	SS ChS1 (TS1)	ChS2 (TS2) ChS3 (TS3)
0,5 - 0,6	SS ChS1 (TS1)	ChS2 (TS2) ChS3 (TS3)	ChS2 (TS2) ChS3 (TS3) Slurry
< 0,5	ChS2 (TS2) ChS3 (TS3) Slurry	ChS2 (TS2) ChS3 (TS3) Slurry	ChS2 (TS2) ChS3 (TS3) Slurry <u>Micropavimentos</u>

Figura 19: Distribución de las labores de rehabilitación en porcentajes, en la troncal principal, A) San José – Caldera, B) Caldera – San José

Dentro de las muchas opciones existentes para tratamientos de preservación, que pueden ser valoradas para atender y minimizar los distintos niveles de peligrosidad ante resistencia al deslizamiento, estas recomendaciones se definen así:

**N.I.: No intervención.** El nivel de resistencia al deslizamiento es muy bueno y no requiere de intervenciones para atender la resistencia al deslizamiento.

**SS: Sand Seal o sello de arena.** Aplicación de una emulsión asfáltica o asfalto diluido sobre la superficie del pavimento a una tasa de colocación definida, posteriormente se aplica una capa de arena graduada para mejorar o retardar condiciones de desprendimientos, desnudamientos o sellado de fisuras menores.

**ChS1,2 y 3: Chip seal o sello de agregado,** también conocido como “tratamientos superficiales” del tipo 1 (TS-1), tipo 2 (Ts-2) y tipo 3(TS-3). Aplicación de una emulsión asfáltica o asfalto diluido sobre la superficie del pavimento a una tasa de colocación definida, posteriormente se aplica una capa de agregado graduado en capas desde 1 a 3 variando el tamaño del agregado para mejorar o retardar condiciones de desprendimientos, desnudamientos exudación, mala fricción o sellado de fisuras menores.

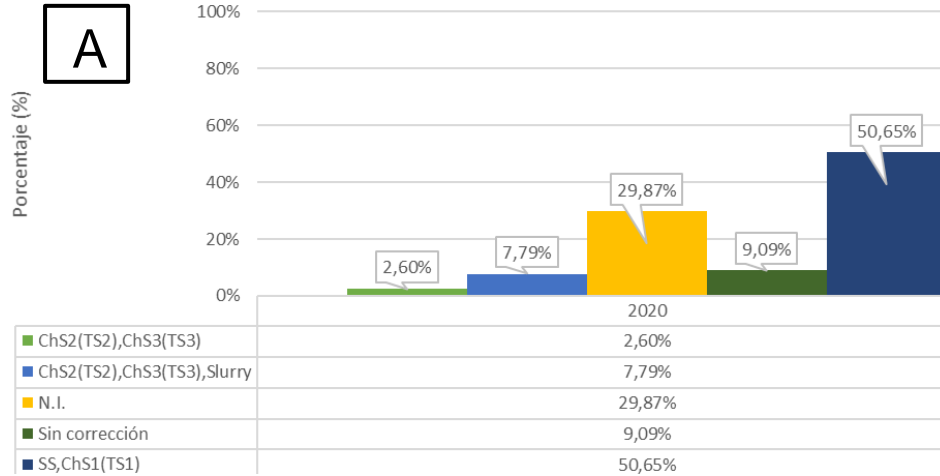
**Slurry seal: Sello de lechada asfáltica.** Aplicación de una mezcla de emulsión asfáltica combinada con un agregado fino, por medio de equipos especializados puede ser utilizada para mejorar o retardar condiciones de desprendimientos, desnudamientos exudación, mala fricción o sellado de fisuras menores.





**Micro-pavimentos:** Es un tipo de slurry seal que utiliza una emulsión modificada con polímeros plásticos, agregados de alta calidad y aditivos especiales.

Estrat. Intervención San José - Caldera, 2020-2021



Estrat. Intervención San José - Caldera, 2020-2021

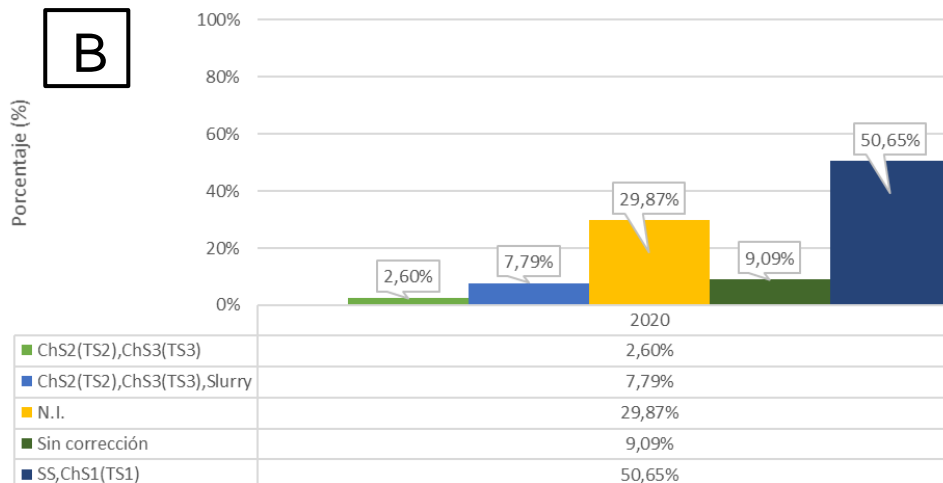


Figura 20. Distribución de las labores de rehabilitación en porcentajes, en la troncal principal, A) San José – Caldera, B) Caldera – San José. Según resultados del Grip Tester.

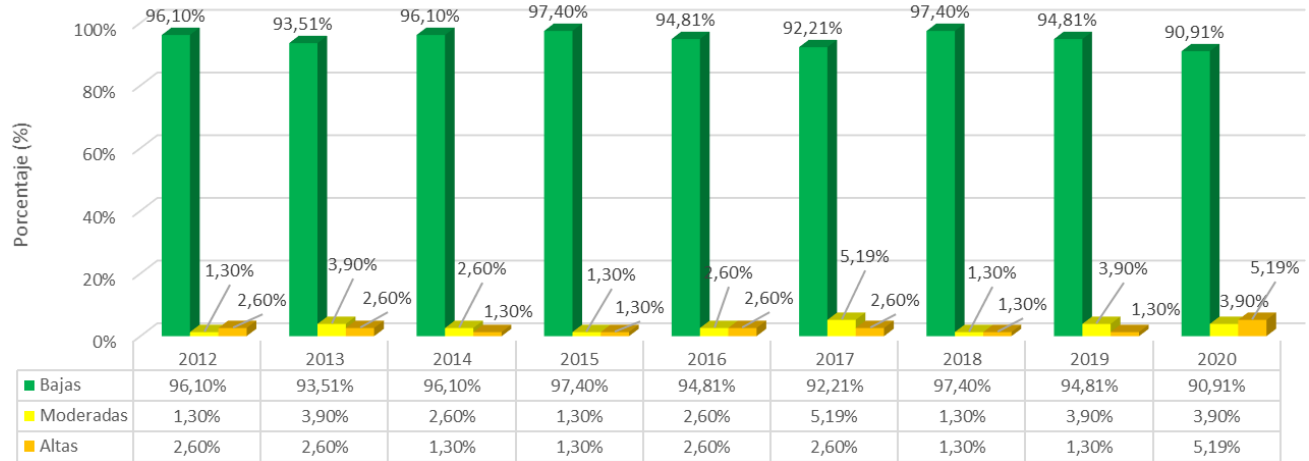
#### 4.5 Comparación de indicadores en la troncal principal, años 2012 al 2020

##### 4.5.1 Evaluación con el Deflectómetro de Impacto

La Figura 21 muestra el comportamiento de la ruta en su condición estructural, para ambos sentidos para las últimas 9 campañas de evaluación. Debido a que las longitudes evaluadas entre campañas varían en menos del 1%, los resultados son comparables.



### Deflexión en Estructural de Pavimento San José - Caldera, 2012-2020



### Deflexión en Estructural de Pavimento Caldera - San José , 2012-2020

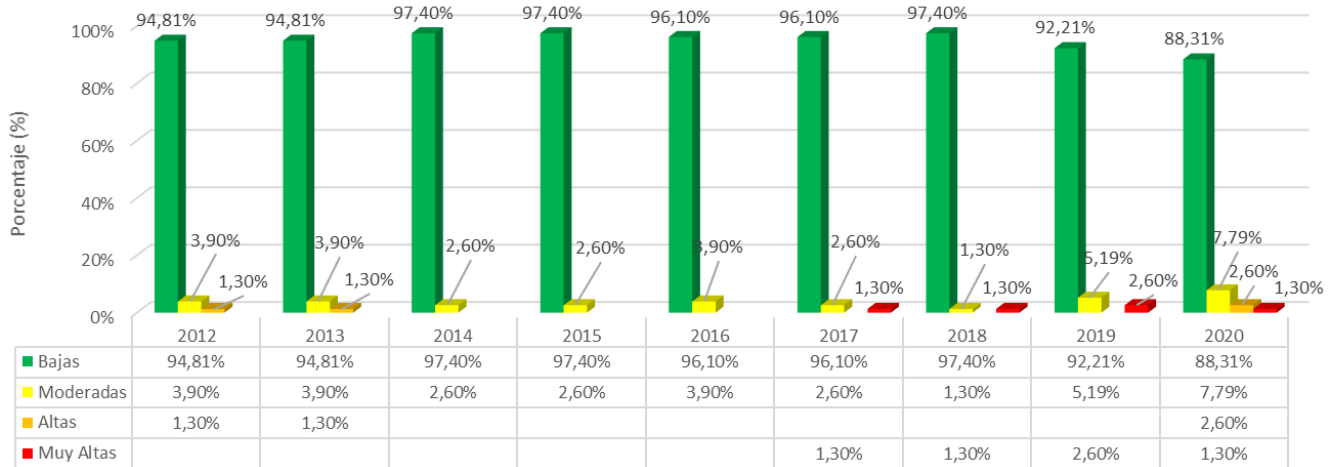


Figura 21. Resultados obtenidos en la evaluación de las deflexiones del pavimento para las campañas 2012 al 2020 de la Ruta Nacional 27

Este indicador refleja que la estructura del pavimento en general presenta una muy buena condición a lo largo de las evaluaciones realizadas, demostrando que su paquete estructural ha mantenido deflexiones bajas a lo largo de las nueve evaluaciones.

En el sentido San José – Caldera, los tramos que presentan las categorías *moderada* y *alta* tiene un incremento del 4,4% del promedio en estas categorías entre los años 2012 y 2019, mientras que en el sentido Caldera – San José, se incrementó en alrededor de un 7,5% del promedio presentado entre los años 2012 al 2019 en las categorías de *moderadas a muy altas*. Se debe mencionar que el deterioro en la capacidad estructural es normal en cualquier pavimento, debido a que conforme pasan los vehículos (especialmente vehículos pesados, como camiones de 3 o más ejes y cargas livianas), el paquete estructural va perdiendo capacidad soportante, producto del fenómeno conocido



como fatiga del material que compone las diferentes capas del pavimento. De ahí la importancia de este parámetro, con el que es posible programar estrategias de intervención para mantener o mejorar su condición estructural.

#### 4.5.2 Evaluación con el Perfilómetro Láser

Del análisis de las Figura 22, se observa que para el sentido San José – Caldera para años anteriores se da un aumento constante en la categoría *Regular* con excepción del año 2019, donde se presentó un aumento en la categoría de *Buena* de un 17% pasando a tener casi un 60% de la superficie de ruedo en buena condición y una disminución en la categoría *Regular*.

A partir del año 2014 y hasta el 2018, se aprecia una un incremento de alrededor de un 40% en la condición regular para el sentido Caldera – San José, presentando una leve mejora cercana al 8% en el año 2019, pero para el 2020 se presentó un incremento superior al 20% en relación con el año 2019 para la categoría *regular*, lo que llega a perjudicar el confort, posible incremento de los costos de operación para los usuarios y la posibilidad de una acelera incidencia de deterioros en el pavimento.

Capacidad Funcional San José - Caldera, 2012-2020

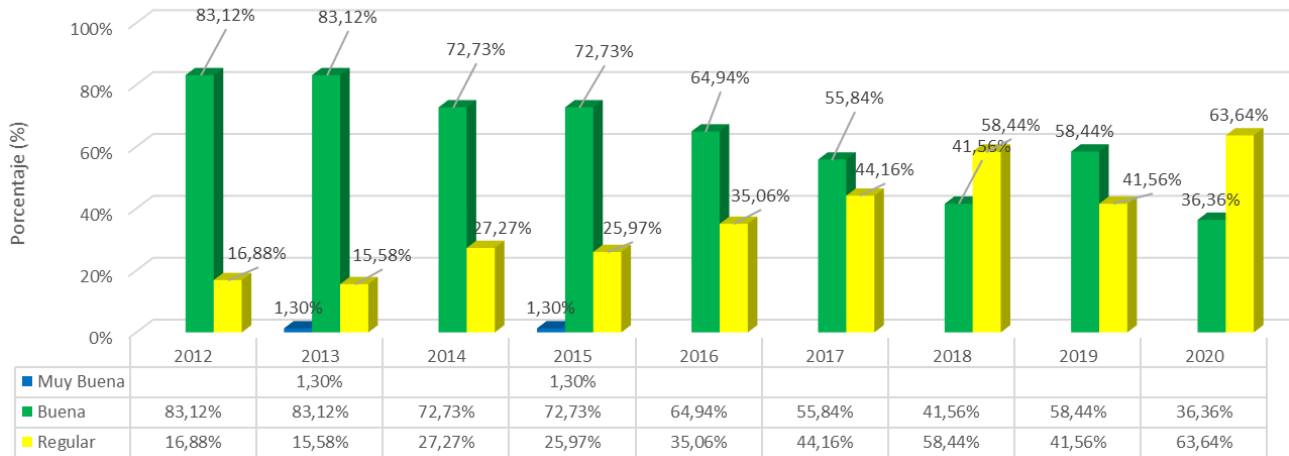


Figura 22. Resultados obtenidos en la evaluación de las regularidades superficiales del pavimento para las campañas 2012 al 2020, sentido San José – Caldera de la Ruta Nacional 27





### Capacidad Funcional Caldera - San José, 2012-2020

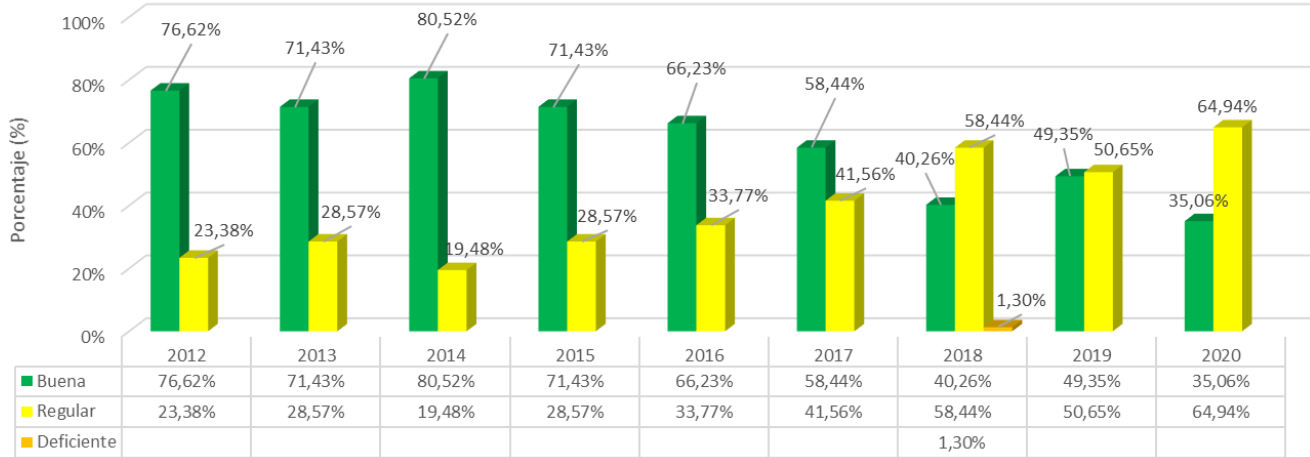


Figura 23. Resultados obtenidos en la evaluación de las regularidades superficiales del pavimento para las campañas 2012 al 2020, sentido Caldera – San José de la Ruta Nacional 27

#### 4.5.3 Evaluación con el medidor del coeficiente de rozamiento superficial

La Figura 24 y Figura 25 presentan los resultados obtenidos en las campañas de evaluación con el medidor del coeficiente de rozamiento superficial *GripTester*, realizadas en los años 2012 al 2020 para cada uno de los sentidos de la Ruta Nacional 27.

### Coefficiente Rozamiento GN San José - Caldera, 2012-2020

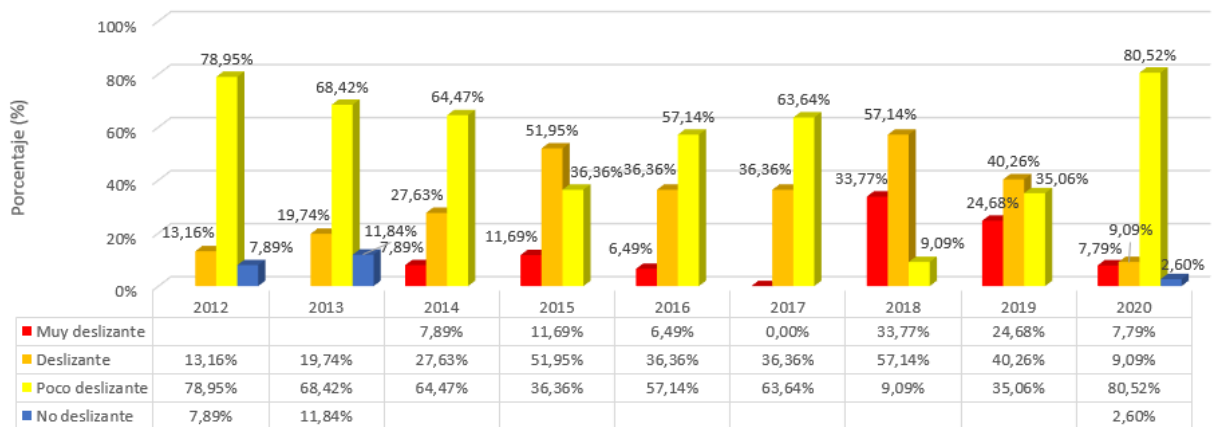


Figura 24. Resultados obtenidos en la evaluación del nivel de deslizamiento superficial del pavimento para las campañas 2012 al 2020, sentido San José – Caldera de la Ruta Nacional 27



Coeficiente Rozamiento GN Caldera - San José, 2012-2020

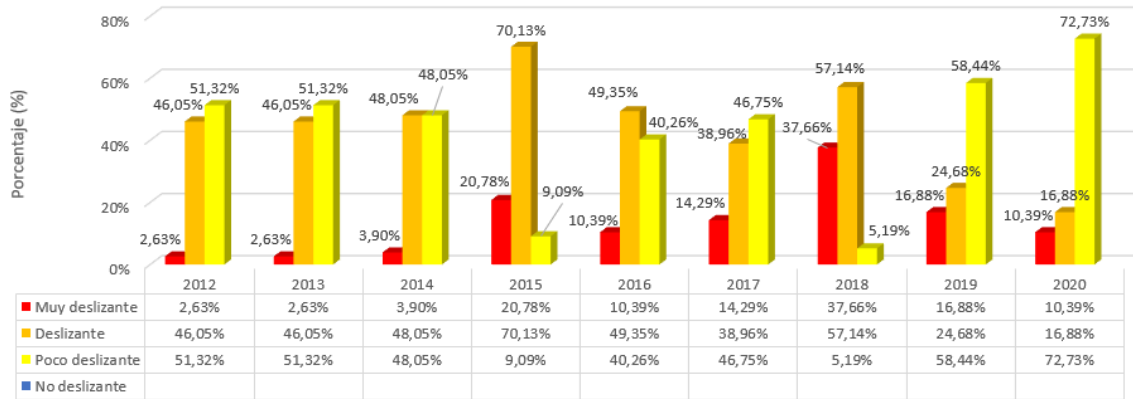


Figura 25. Resultados obtenidos en la evaluación del nivel de deslizamiento superficial del pavimento para las campañas 2012 al 2020 sentido Caldera – San José de la Ruta Nacional 27

En la Figura 3-23 se muestra que en el sentido San José – Caldera, desde el 2018 al año 2020, ha mejorado el parámetro, ya que pasó de una condición Muy deslizante de 33,77 % en el año 2018 a 7,79 % para el año 2020. En el caso de la categoría Deslizante, la tendencia es análoga, ya que para el año 2018 se presentaba un 57,14 % en esta categoría y para el año 2020 bajó a 9,09 %. Cabe destacar que, en todo el periodo de análisis que data desde el 2012, no se ha presentado un valor tan alto como el presente en el año 2020 para la categoría Poco deslizante, con un valor de 80,52 %.

En la Figura 3-24 sentido Caldera – San José, los resultados del 2018 a la fecha también evidencian una tendencia hacia la mejora del parámetro al compararlo con el año 2020. En la clasificación Muy Deslizante para el año 2018, se registró un valor de 37,66 % de la vía con esta condición crítica, valor que para el año 2020 se redujo a 10,39 %. Para la categoría Deslizante, pasó de 57,14 % a 16,88%, respectivamente para los años 2018 y 2020. Al igual que para el sentido San José – Caldera, el año 2020 presenta el valor histórico más alto en la condición Poco Deslizante con un 72,73 %.

A pesar de que los resultados son alentadores, es importante destacar que la meta a nivel del parámetro de deslizamiento superficial del pavimento corresponde a la condición No deslizante y este valor para el año 2020 presenta un valor de 2,60 % en el sentido San José – Caldera y 0,00 % en el sentido Caldera – San José. Cabe destacar que la condición No deslizante del 2012 al 2020 no ha excedido un valor de 11,84 % para el sentido San José – Caldera, valor identificado en el año 2013 y que ha tendido hacia un valor de 0 % en ambos sentidos de la vía en los registros históricos.

**4.6 Comparación de las notas Q obtenidas para la Ruta 27, años 2012 al 2020**

Por medio de la utilización de la metodología para el cálculo de las Notas de Calidad Q, el LanammeUCR introduce un indicador de condición del proyecto, que permite evaluar la evolución del deterioro del corredor en forma integral. Las Notas de Calidad Q ponderan la condición estructural y la condición funcional en un único indicador, y correlaciona esta

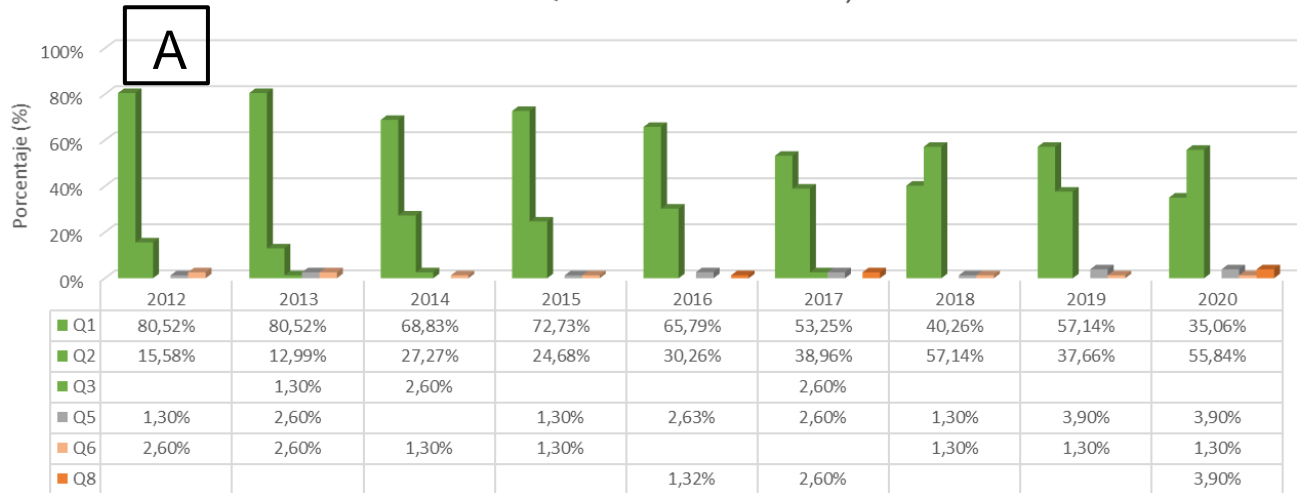


nota con los valores de agarre superficial, para establecer niveles de intervención; es decir, actividades que van desde el mantenimiento hasta la reconstrucción total de una vía.

Calculando las notas de calidad Q para el corredor de la troncal principal y comparándola con sus equivalentes en evaluaciones anteriores, se puede conocer el nivel de calidad del proyecto y su desempeño en el tiempo (Figura 24).



Nota de Calidad Q San José - Caldera, 2012-2020



Nota de Calidad Q Caldera - San José, 2012-2020



Figura 26. Resultados obtenidos en la comparación de Notas Q para las campañas 2012 al 2020. A) San José – Caldera, B) Caldera – San José

Para ambos sentidos de circulación se puede apreciar en la figura anterior que conforme va disminuyendo la condición funcional y, en menor medida, la condición estructural, se va presentando una disminución constante de la longitud del proyecto con nota de calidad Q1, evolucionando hacia Q2 principalmente.

Con respecto a las estrategias de intervención, la comparación de resultados entre evaluaciones desde el año 2012 al 2020 se muestra en la Figura 25.

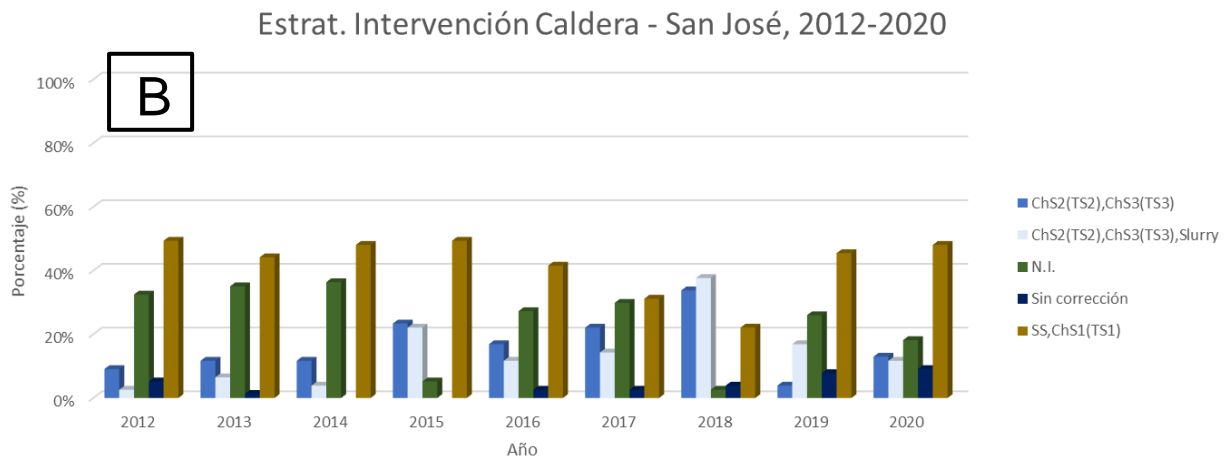
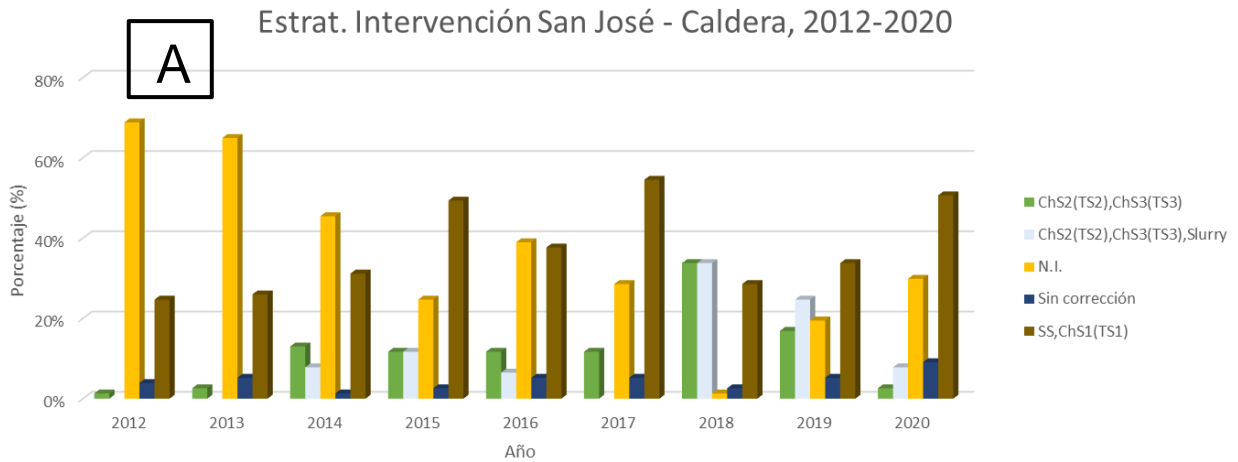


Figura 27.: Resultados obtenidos en la comparación de estrategias de intervención para las campañas 2012 al 2019. A) San José – Caldera, B) Caldera – San José

Estas estrategias están definidas con el objeto de mejorar las condiciones generales de la ruta relacionados principalmente a la condición funcional y resistencia al deslizamiento. En la figura anterior se muestra que a lo largo de los años evaluados en el sentido San José – Caldera, la longitud de la ruta que no requería de alguna intervención (N.I.) ha disminuido en las últimas dos evaluaciones, incrementando la categoría *Sin Corrección*, puesto que, como se observa en las secciones 3.5a, 3.5b y 3.5c, se ha dado un incremento del deterioro en la condición del pavimento, principalmente en la condición funcional y agarre superficial.



## 4.7 Análisis de la condición superficial. Evaluaciones realizadas en setiembre 2020

### 4.7.1 Equipo utilizado y criterios de clasificación

El *Equipo de Imágenes digitales Georreferenciadas* usado cuenta con dos cámaras fotogramétricas ubicadas en tres distintas posiciones sobre el vehículo, permitiendo tener una visión más general del proyecto y dos vistas traseras que permiten realizar la evaluación de la superficie de ruedo del pavimento. Los criterios de severidad que se utilizaron para la realización de esta evaluación, se establecen de acuerdo a lo definido en la norma ASTM D6433 para deterioros superficiales en pavimentos flexibles, y el *Manual de Auscultación Visual de Pavimentos para Profesionales*. Al contar con la información obtenida en el periodo 2011 - 2018 referente a los deterioros presentes en esta ruta, se pudo hacer un análisis comparativo por sentido de circulación, que permitió identificar los cambios superficiales ocurridos, lo cual a su vez se puede reflejar en las Notas de Calidad Q.

### 4.7.2 Resumen de resultados de la evaluación visual de deterioros superficiales.

En la Figura 26, se muestran los resultados obtenidos de la evaluación de deterioros realizada en la troncal principal en ambos sentidos de circulación. En total, se registraron 62.835,1m<sup>2</sup> afectados por deterioros tipo área (piel de lagarto, bacheo, exudación y desprendimiento de agregado), en donde el área afectada por Bacheo, representa un 43% del área evaluada en la troncal principal del sentido San José – Caldera.



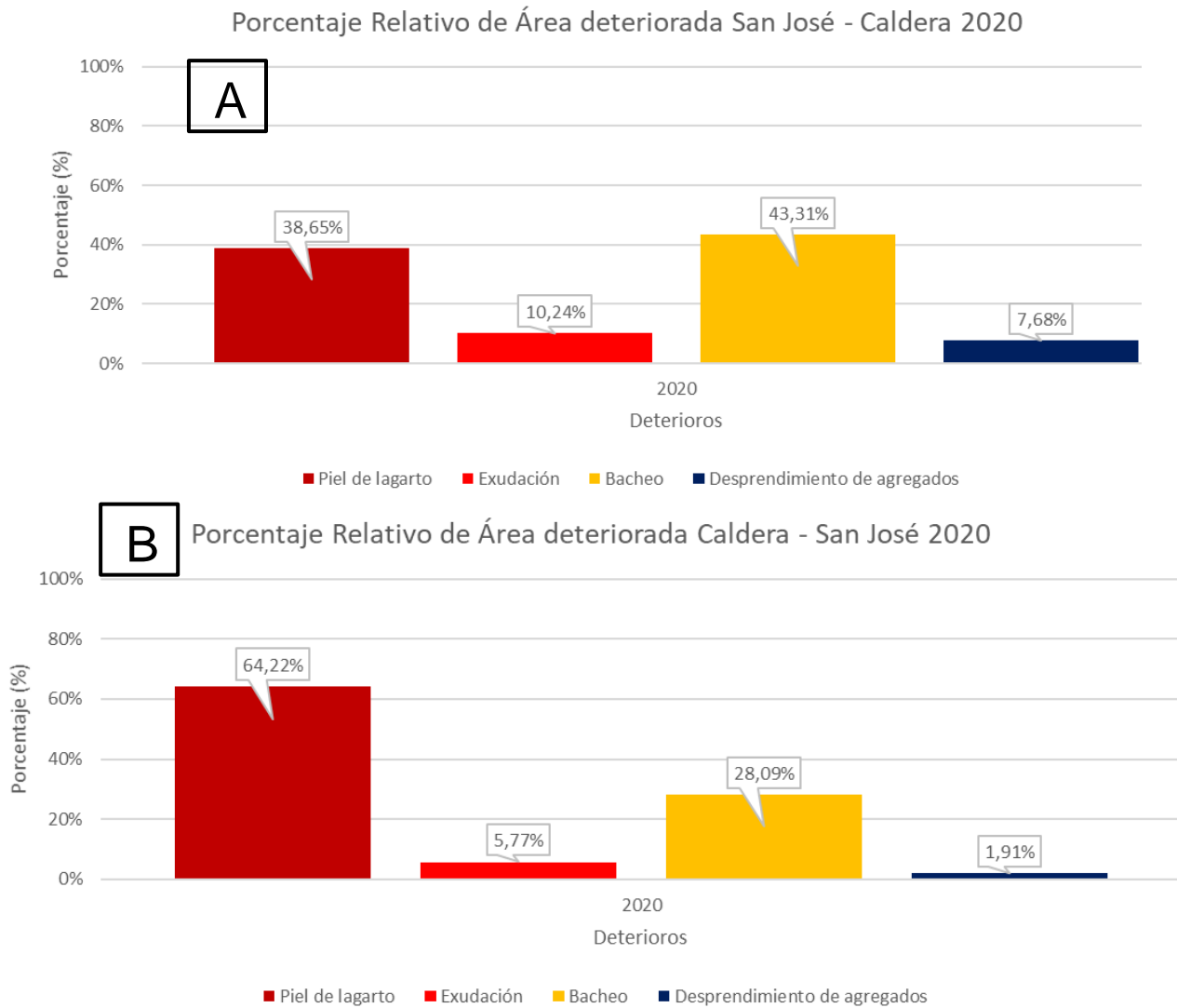


Figura 28 Resultados de deterioros, sentido San José – Caldera.

A) Deterioros por área, B) Deterioros por longitud

Como se observa, el deterioro tipo *Piel de Lagarto* representa en promedio el 51% del área deteriorada de cada segmento evaluado seguido por *Bacheo*, con presencia de exudación en un 10% y 6% en los sentidos San José – Caldera y Caldera – San José, respectivamente.

Como un caso particular de análisis, se detectó que hay una concentración de sello de grietas tanto para grietas longitudinales y transversales (en menor medida) y un uso generalizado en zonas afectadas con piel de lagarto en los primeros 14 km del proyecto, como se ejemplifica en la Figura 27.

Esta práctica puede representar dos posibles afectaciones a este tramo de la ruta:



1. La primera afectación, está relacionada con el no cumplimiento del objetivo de prevenir o reparar el deterioro que se ha detectado en la superficie de ruedo, el cual, en su mayoría en este caso, es Piel de Lagarto. Este tipo de deterioro representa un problema más allá de grietas en la capa superficial de la estructura del pavimento, puede llegar a representar un problema en todo el paquete estructural, ya que estas grietas tienen su origen en la fibra inferior de la capa de mezcla asfáltica, que son provocadas por fatiga del material, dada la acción repetida de las cargas de tránsito, por lo que, al ya ser visibles las grietas en la superficie de ruedo, se ha dado paso el ingreso de agua a la estructura del pavimento, favoreciendo que éste empiece a debilitarse según se dan las cargas vehiculares que circulan sobre éste, por lo que al usar sello de grietas no previene ni repara el problema, en el mejor de los casos lo retarda, puesto que no es un problema funcional, sino más bien, es un problema estructural.
2. La segunda posible afectación, es desde la perspectiva de seguridad vial. Como se puede observar en la sección 8.4.1 *Generalidades*, Figura 113, se pudo detectar una mayor concentración de accidentes en los primeros 14 km de la ruta, a pesar de no haber una relación directa, puesto que la ocurrencia de accidentes de tránsito es multifactorial, el contar con una zona donde hay una alta presencia de sellos de grieta, con velocidades de operación entre 80 km/h y 100 km/h, podría ser uno de esos factores que favorecen que se dé una mayor ocurrencia de accidentes junto a condiciones en las que hay presencia de humedad.

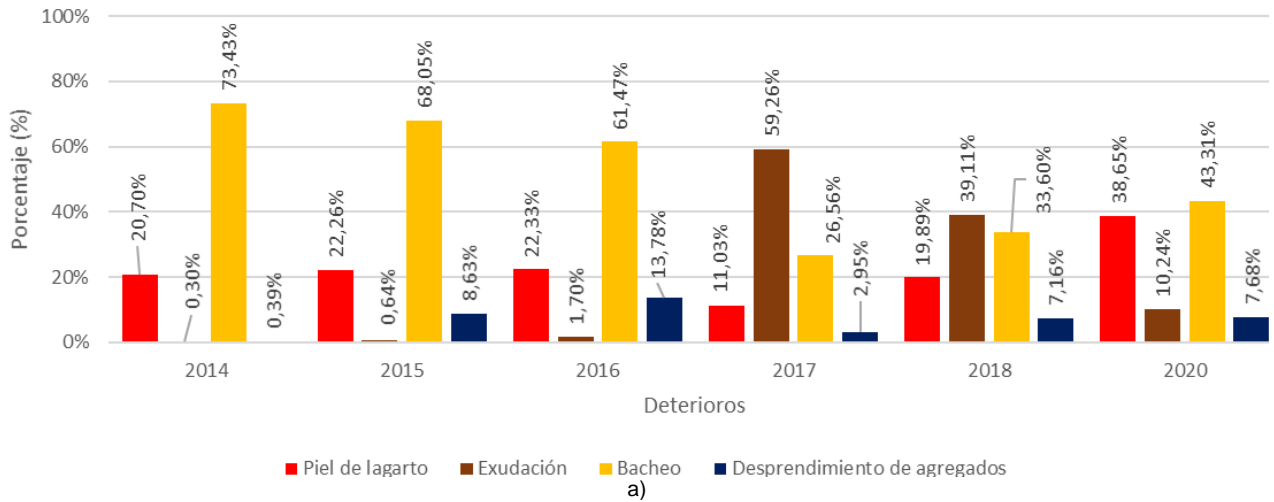


Figura 29. Sellos de grietas

#### 4.7.3 Comparación de resultados entre los años 2014 - 2020 de la evaluación visual de deterioros superficiales.

En la Figura 28 se muestra la comparación para las últimas 6 evaluaciones, en el tema de deterioros, para el sentido San José – Caldera. En los deterioros que se registran según el área deteriorada, se ha dado un incremento constante en la superficie afectada, mientras que la longitud deteriora han arrojado resultados aproximadamente similares en las últimas 2 campañas de evaluación se deriva un crecimiento acelerado: de seguirse la tendencia, es posible en el corto plazo alcanzar los porcentajes máximos fijados en el cartel de licitación, Cláusula 2.5.2 *Indicadores para Pavimento Asfáltico* en el inciso c) *Agrietamiento (%)*.

Porcentaje Relativa de Área deteriorada San José - Caldera 2014 - 2020



Porcentaje Relativa de Longitud deteriorada San José - Caldera 2014 - 2020

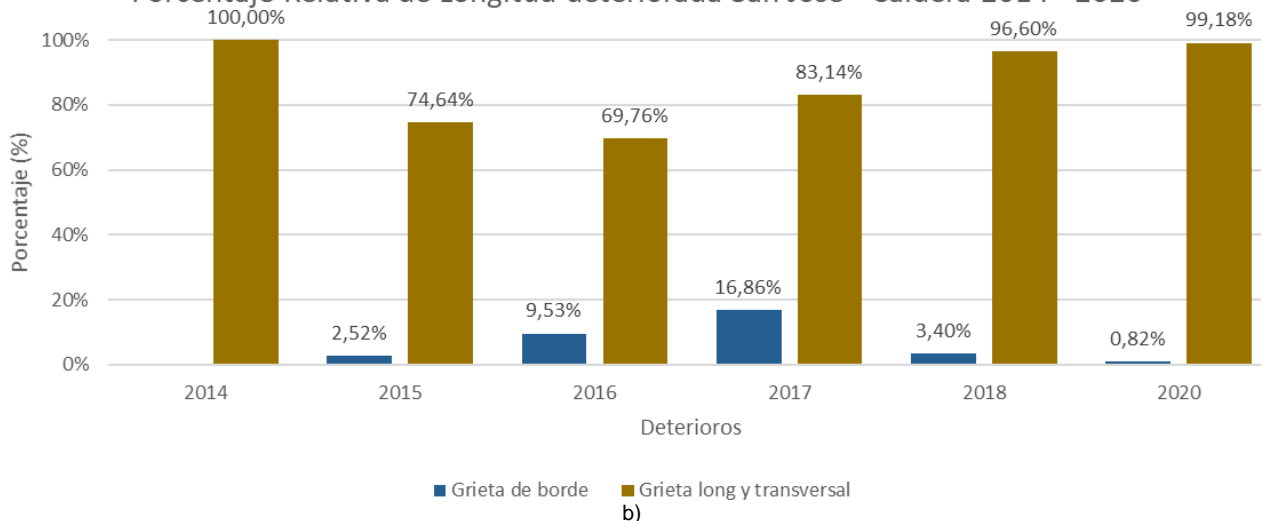
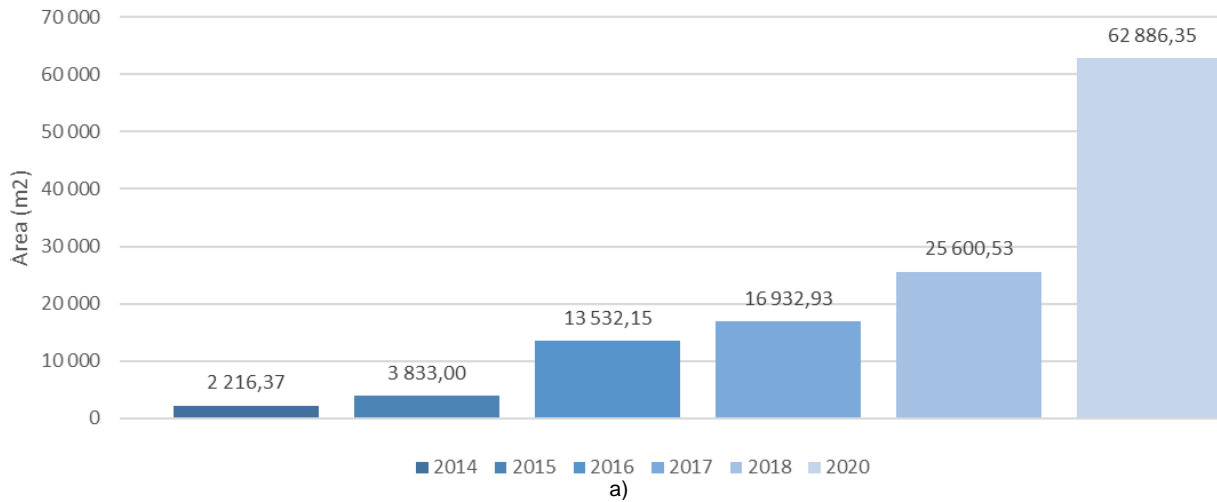


Figura 30: Comparación deterioro superficial 2014 al 2020 en el Sentido San José - Caldera.  
a) Área deteriorada; b) Longitud deteriorada

Al desglosar los deterioros según sea el área o longitud deteriorada (Figura 28), estos han disminuido su área relativa con cada evaluación (Figura 28a). En la longitud deteriorada (Figura 28b), se detectó que la grieta de borde disminuyó considerablemente en relación con el año 2018. En la Figura 29 se muestra el aumento del área y longitud que presenta los diferentes tipos de deterioros, siendo evidente la tendencia acelerada en el aumento del deterioro superficial presente en la troncal principal.



### Área deteriorada San José - Caldera 2014 - 2020



### Longitud deteriorada San José - Caldera 2014 - 2020

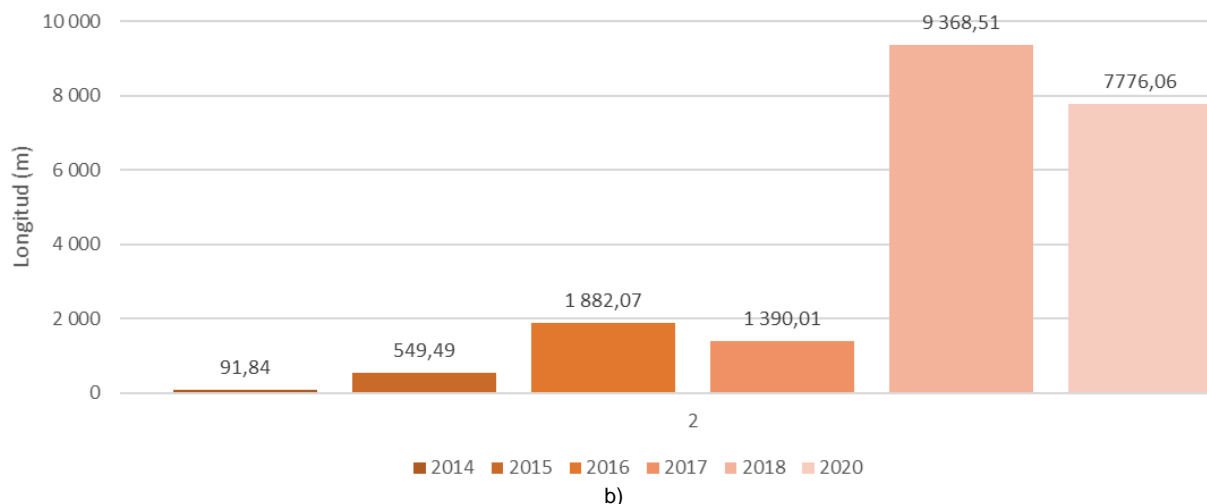


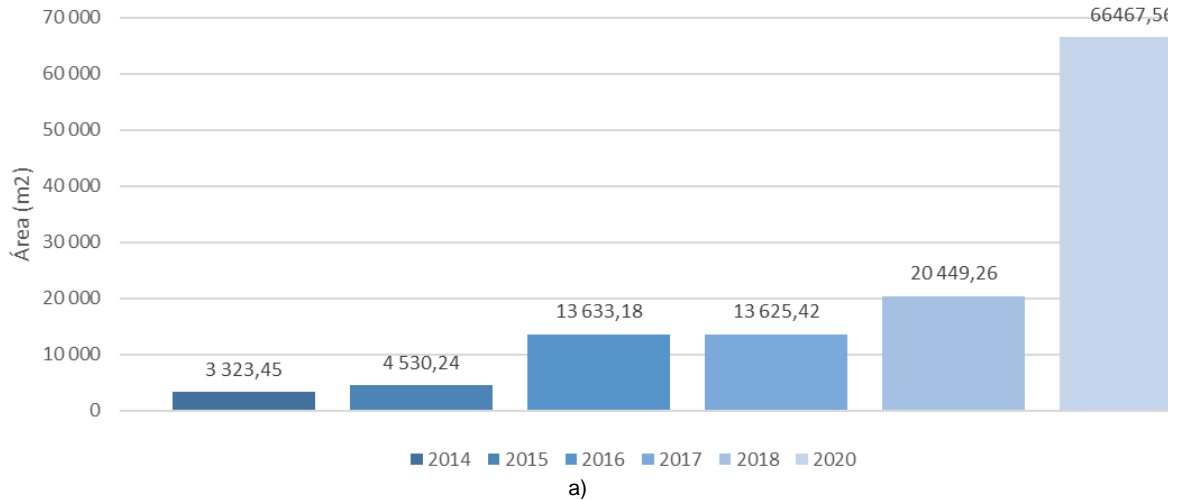
Figura 31 Cantidad de deterioro entre el 2014 al 2018 en el Sentido San José - Caldera.  
a) Deterioros por área; b) Deterioros por longitud

Lo presentado anteriormente, fue el análisis para el sentido San José - Caldera. En el sentido Caldera – San José, se realiza un análisis similar: la Figura 30 muestra los resultados obtenidos en la afectación de la superficie de ruedo por deterioros, para las últimas 6 campañas de evaluación. Para los deterioros tipo *área*, existe un incremento importante en el año 2020. Caso contrario para los tipos *grieta*: mientras que para la campaña de evaluación 2018 se detectó poco más de 9 kilómetros afectados, para la evaluación del 2020, se dio una reducción de casi 2 kilómetros.





Área deteriorada Caldera - San José 2014 - 2020



Longitud deteriorada Caldera - San José 2014 - 2020

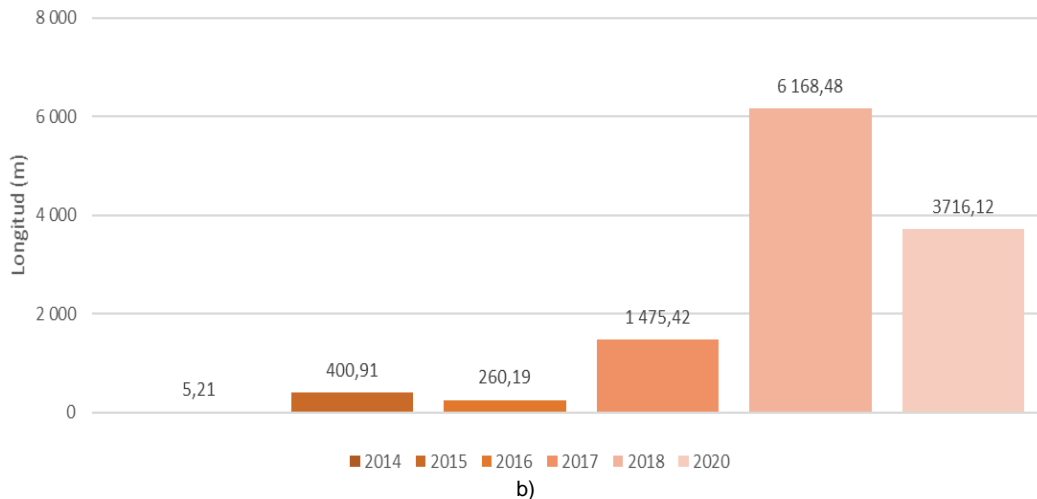


Figura 32: Comparación deterioro superficial 2014 al 2018 en el Sentido Caldera - San José.  
a) Deterioros tipo área; b) Deterioros tipo grieta

Al realizar el desglose por tipo de deterioro, tanto el tipo *piel de lagarto*, como especialmente el *bacheo* (Figura 31a) han aumentado considerablemente en esta última evaluación, al compararlos con la *exudación* y el *desprendimiento*. Por su parte, las grietas de borde (Figura 31b) aumentaron desde la campaña 2016, en relación con las grietas longitudinales y transversales.



Porcentaje Relativa de Área deteriorada Caldera - San José 2014 - 2020

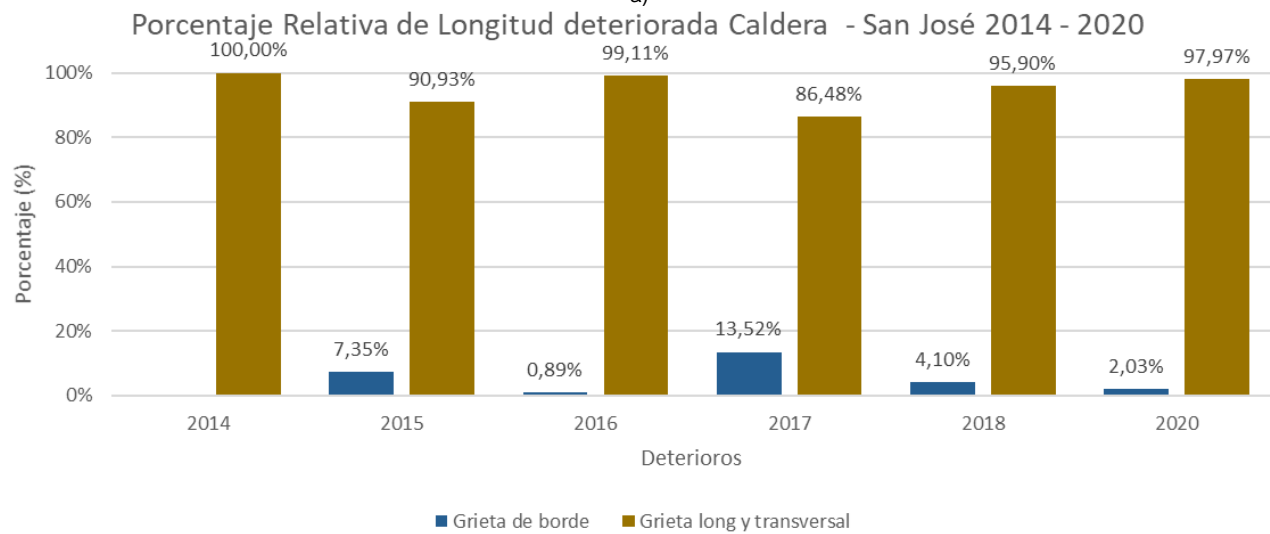
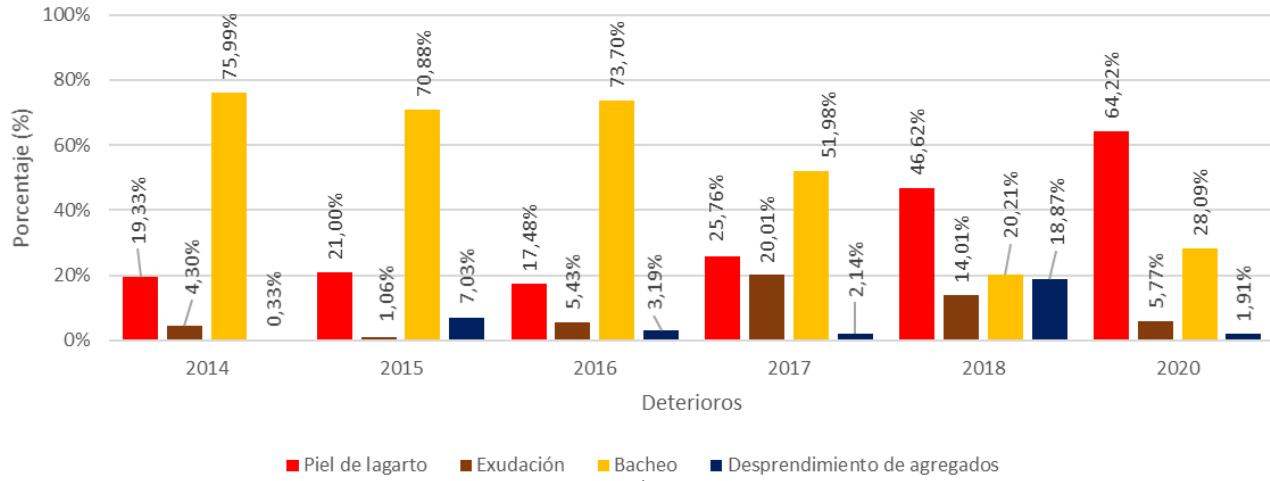


Figura 33: Comparación deterioro superficial 2014 al 2018 en el Sentido Caldera - San José. a) Deterioros tipo área; b) Deterioros tipo grieta



## 5 EVALUACIÓN DE LAS RADIALES

### 5.1 Aspectos Generales

El proyecto de la Ruta Nacional 27 Carretera San José – Caldera, tal y como fue concesionado, comprende tanto la troncal principal como 4 radiales de acceso, a saber:

- **Radial de El Coyol:** conecta el proyecto en concesión en el estacionamiento 22+450 con la Ruta Nacional 1 Carretera Interamericana Norte, en las cercanías de El Coyol de Alajuela. Es la radial más reciente construida y, además la más larga, con 3.800 metros de longitud.
- **Radial de Turrúcares:** conecta la Ruta 27 en el estacionamiento 26+350 con el poblado de Turrúcares de Alajuela. Es la radial más corta, con 200 metros de longitud.
- **Radial de Atenas:** cerca del peaje de Atenas (estacionamiento 31+560), conecta proyecto concesionado con el poblado de Atenas. Tiene una longitud de 3.300 metros.
- **Radial de Escobal:** permite la comunicación desde la Ruta 27 en el estacionamiento 42+150 al poblado de Escobal. Tiene una longitud de 400 metros.

La longitud indicada anteriormente es el recorrido principal de cada radial, sin incluir las rampas o rotondas de conexión. Todas las radiales presentan accesos desde la troncal principal, mediante carriles de aceleración / desaceleración, intersecciones e intercambios con rotondas; asimismo todas presentan un carril por sentido de circulación. La Figura 32 muestra la ubicación de estas radiales.

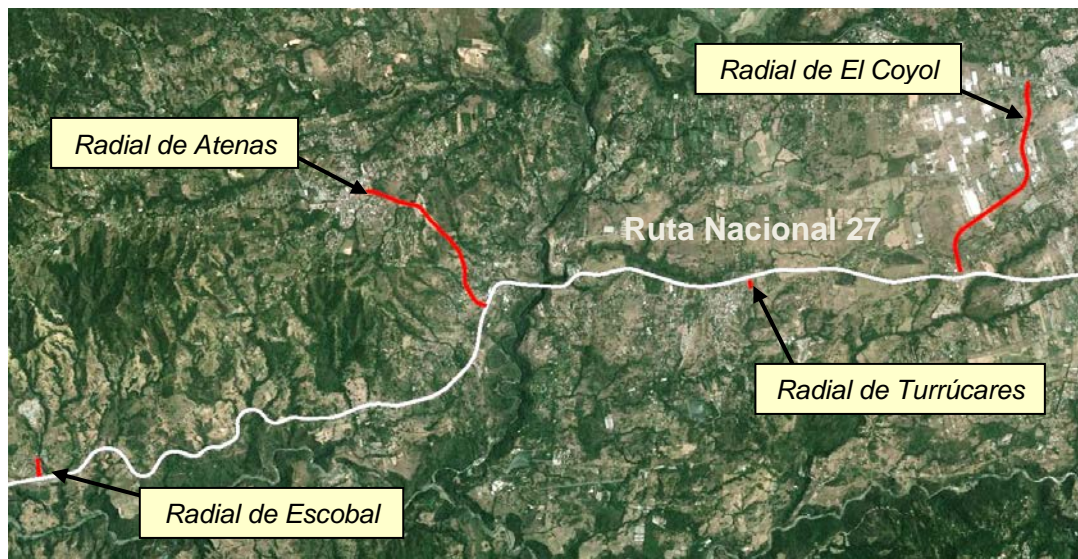


Figura 34. Ubicación de las radiales en la Ruta Nacional 27.



Como parte de la Campaña de Evaluación 2019 – 2020 de la Ruta Nacional 27, se evaluaron las radiales en los parámetros de capacidad estructural con el *Deflectómetro de Impacto*, capacidad funcional con el *Perfilómetro Láser*, seguridad vial con el *Medidor de Agarre Superficial* y nivel de deterioros en la superficie del pavimento con el *Equipo de Imágenes Digitales Georreferenciadas*. En el Anexo VII se muestra de manera gráfica los principales deterioros detectados, y los indicadores del estado del pavimento.

### 5.2 Resultados obtenidos: Capacidad Estructural

La Figura 33 muestra para cada radial, los resultados obtenidos con el *Deflectómetro de Impacto*, en porcentajes relativos para la longitud de cada una. Según el contrato de la concesión en la Sección 2.3.2.1.5 *Diseño Geométrico*, el concesionario debe considerar como mínimo las velocidades de diseño y las secciones transversales típicas contenidos en los diseños, planos y anteproyectos proporcionados por el Concejo Nacional de Concesiones (CNC) y dar mantenimiento y rehabilitación a las radiales especificadas en el contrato.

Al momento de realizar este análisis no se contó con la información referente a la estructura de cada radial, ya que desde el 2010 se solicitó la configuración del paquete estructural y no se obtuvo respuesta, por lo que se considera un espesor de capa asfáltica igual a la estructura de la sección a la cual pertenecen: dado que todas las radiales se encuentran en la Sección 2 de la ruta, se asumirá su estructura para el cálculo de las deflexiones.

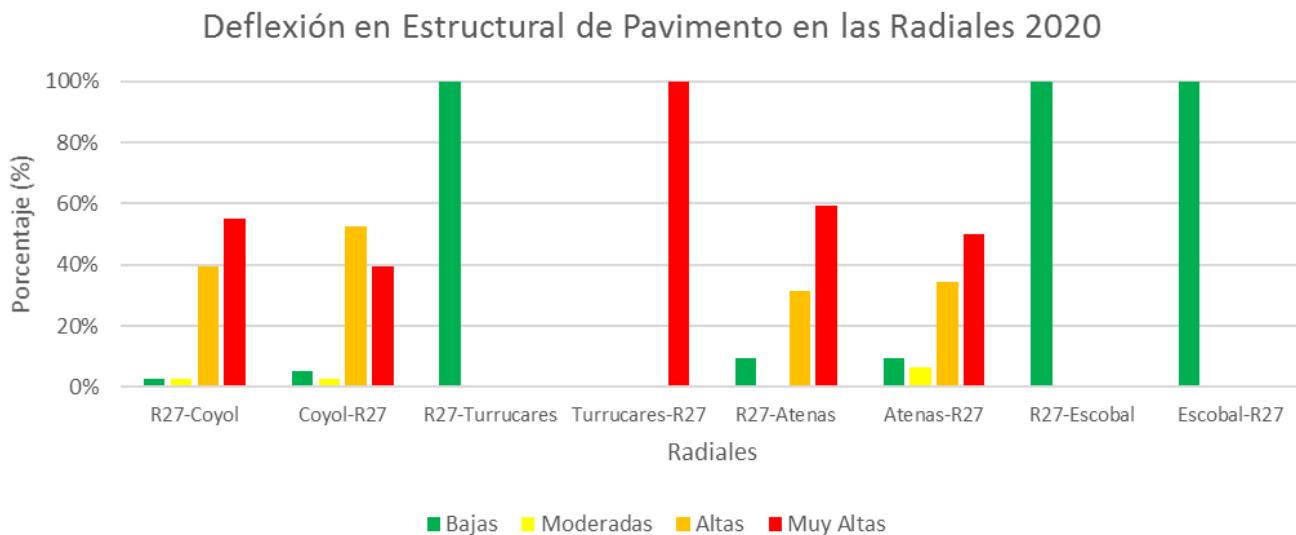


Figura 35. Resultados obtenidos con el Deflectómetro de Impacto, para las radiales de la Ruta 27, en porcentajes para cada categoría.

De la figura anterior se puede notar que las dos radiales más largas del proyecto (Atenas y El Coyol), son las que presentan los valores más altos de deflexiones, lo que representa que estas radiales presentan una capacidad deficiente para soportar las cargas vehiculares. No obstante, en el sentido Turrúcares – Ruta 27 presenta deflexiones muy

altas. Por su parte, la de Escobal cuenta con deflexiones que representan una muy buena condición estructural.

### 5.3 Resultados obtenidos: Condición Funcional

En la Figura 34 se muestran los resultados obtenidos con el equipo *Perfilómetro Láser*. Similar a los datos presentados de deflectometría, en esta figura se muestran los porcentajes relativos obtenidos para cada categoría, según la longitud total de cada radial.

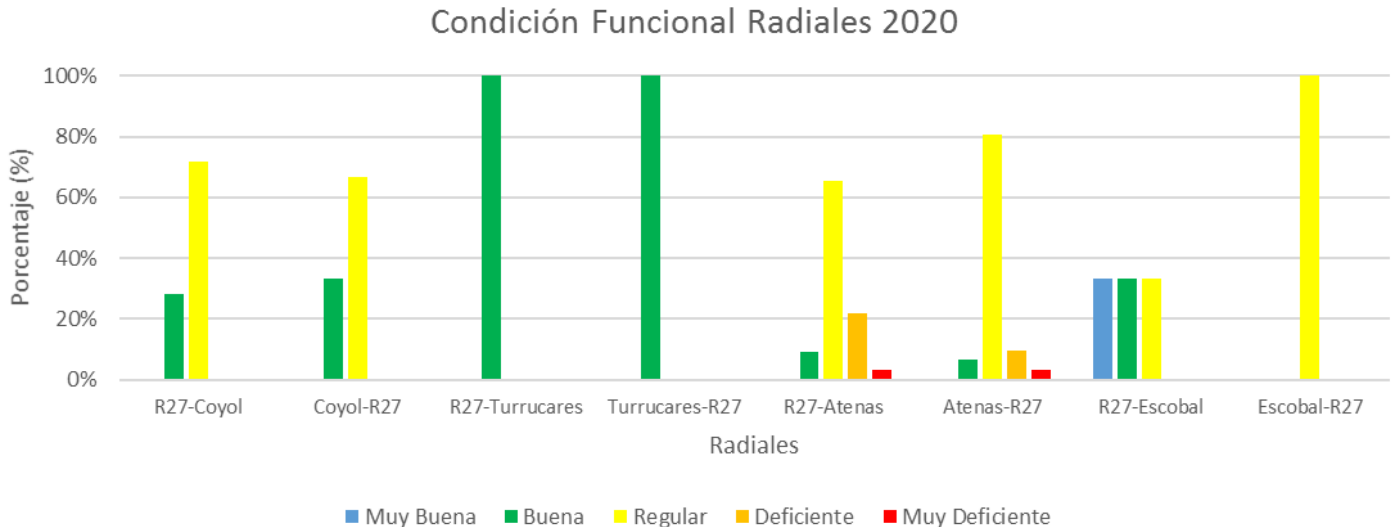


Figura 36. Resultados obtenidos con el Perfilómetro Láser, para las radiales de la Ruta 27, en porcentajes para cada rango.

Como se observa en la figura anterior, la mayor parte de la longitud de cada radial se encuentra en la categoría de *Regular*, excepto la Radial de Turrúcares que presenta a todo lo largo de tramo una *Buena* condición. La radial de Atenas, presenta además una longitud importante dentro del rango *Deficiente*.

### 5.4 Resultados obtenidos: Coeficiente de Fricción

La Figura 35 y Figura 36 muestran los resultados obtenidos en la evaluación de agarre superficial, con los 2 equipos usados también en la troncal principal (*GripTester*, *MuMeter*). Se puede observar que la evaluación con el *MuMeter* muestra que ninguna radial cumple con los parámetros contractuales en ambos sentidos de circulación. Resalta que la Radial Turrúcares presenta un 100 % de incumplimiento en ambos sentidos de circulación y que la Radial El Coyol, en el sentido Ruta Nacional 27 hacia El Coyol, presenta un 70 % de la vía con condición *Fuera de contrato*.

En relación con los resultados obtenidos con el *GripTester*, se presenta en el sentido Ruta Nacional 27 - Radial Turrúcares 100% de su longitud en condición *Deslizante* y en el sentido Radial Turrúcares – Ruta Nacional 27, 100 % de su longitud en condición *Muy deslizante*. Para la Radial El Coyol en el sentido El Coyol – Ruta Nacional 27, presenta 18,42 % en condición *Muy deslizante*, 63,16 % *Deslizante* y 18,42 % *Poco deslizante*,





mientras que para el sentido Ruta Nacional 27 – El Coyol la proporción pasa a 30 % en condición *Deslizante* y 70 % en condición *Poco deslizante*. En la Radial Atenas para el sentido Ruta Nacional 27 – Atenas, se presenta 100 % de la vía en condición *Poco deslizante*, pero en el sentido Atenas – Ruta Nacional 27, se distribuye la condición en 12,12 % *Muy deslizante*, 9,09 % en condición *Deslizante* y 78,79 % *Poco deslizante*. Finalmente, en la Radial a Escobal en el sentido Escobal – Ruta Nacional 27 cuenta con un 100% de su longitud en condición *Deslizante*, mientras que en el sentido Ruta Nacional 27 – Escobal presenta un 100% en condición *Poco deslizante*.

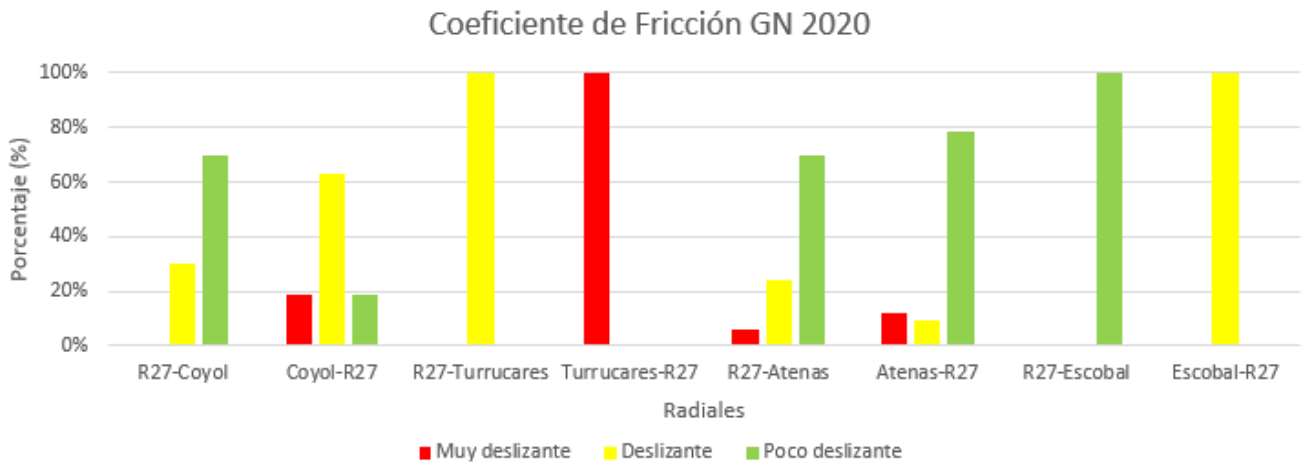


Figura 37. Resultados obtenidos con el Grip Tester, para las radiales del proyecto concesionado, en porcentajes para cada rango.

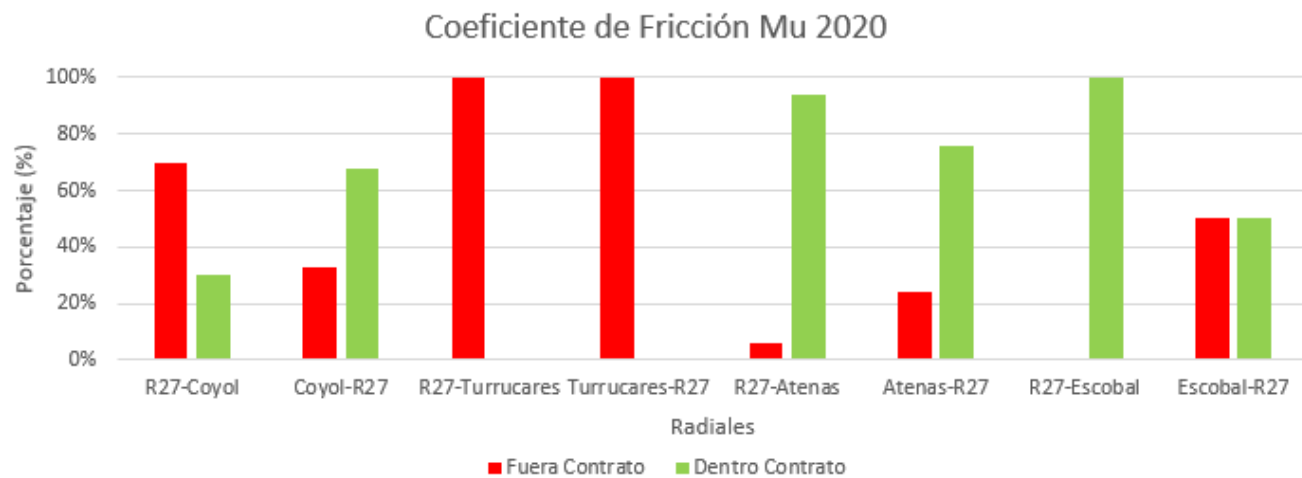


Figura 38. Resultados obtenidos con el Mu-Meter, para las radiales de la Ruta 27, en porcentajes para cada rango.



### 5.5 Notas de Calidad Q para las radiales

Con base en los resultados obtenidos en deflectometría y regularidad superficial, se procede a estimar las notas Q para cada radial (dividida en tramos de 100 metros de longitud para poder contar con unidades de análisis comparables en el tiempo). Los resultados (Figura 37) muestran que, excepto por la radial a Escobal, las demás radiales presentan porcentajes importantes de su longitud con Notas Q R1, R2 y R3 que presentan altos niveles de deterioro, desde el punto de vista estructural y funcional, lo que se traduce en que la alternativa de intervención recomendada es la reconstrucción del pavimento.

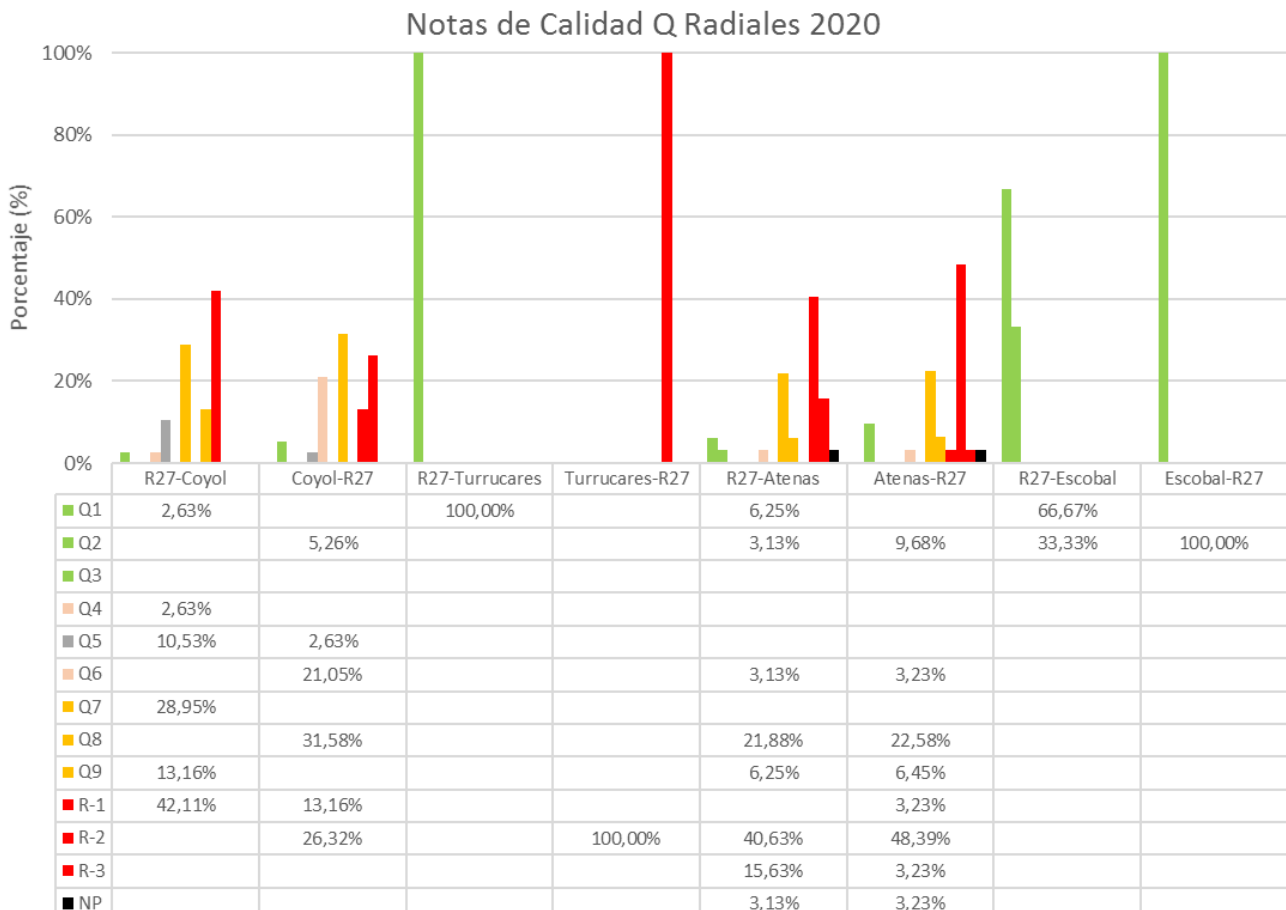


Figura 39. Notas Q para las Radiales.



### 5.6 Resultados obtenidos: análisis de deterioros superficiales

Con el *Equipo de Imágenes Digitales Georeferenciadas*, se realizó un levantamiento detallado de la superficie pavimentada de cada radial. Con esto, fue posible ubicar los deterioros en cada radial, así como su extensión y severidad.

En la campaña de evaluación 2020 – 2021, se muestra que, al hacer una comparación relativa del área deteriorada versus el área total aproximada de cada radial (Figura 38), se puede notar que la radial a El Coyol es la que presenta mayor porcentaje de área deteriorada. Además, se puede apreciar que los deterioros dominantes son Piel de Lagarto, Exudación y Bacheo, en donde para la Radial a El Coyol la Piel de Lagarto representa alrededor de un 10% del área deteriorada.

Estos resultados concuerdan con los valores obtenidos en la sección 5.5 *Notas de Calidad Q para las radiales*, puesto que un porcentaje importante de longitud para cada radial requieren de actividades de rehabilitación e incluso reconstrucción, dado el nivel que presenta tanto desde el punto de vista estructural, como funcional y de deterioros superficiales.

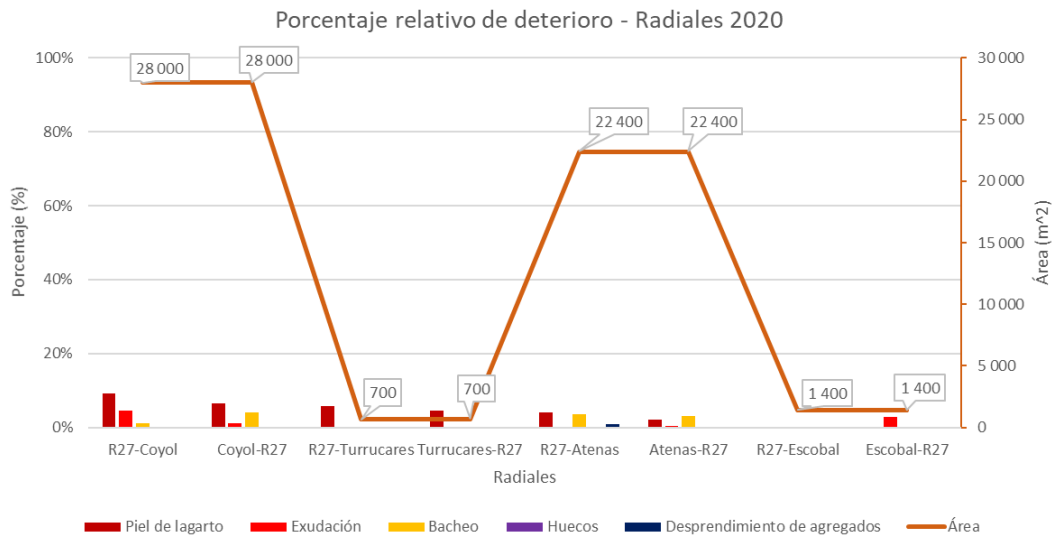


Figura 40. Distribución de deterioros en las radiales con área deteriorada por radial, Ruta Nacional 27



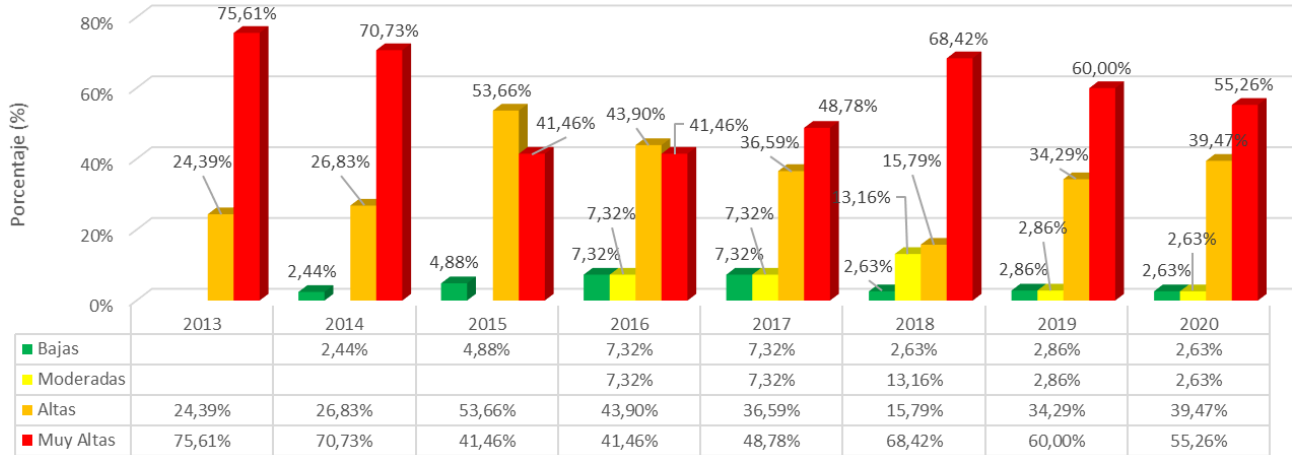
## 5.7 Comparación de la condición de las radiales, campañas 2013 – 2020

### 5.7.1 Evaluación con el deflectómetro de impacto

Las Figura 39, Figura 40, Figura 41 y Figura 42 muestran para cada sentido de las radiales, la comparación de los resultados obtenidos en las campañas de evaluación de la capacidad estructural, entre los años 2013 a 2020. Del estudio de estas figuras, no se determina una tendencia clara hacia la mejora, pero lo que si resulta claro es que, al comparar el estado estructural de las radiales con la de la troncal principal, los resultados muestran que, a lo largo de las últimas campañas de evaluación, excepto la Radial de Escobal que mantiene buena capacidad estructural, no se evidencia un plan de intervenciones para su conservación.



### Deflexión en Estructural de Pavimento Ruta 27 - El Coyal, 2013-2020



### Deflexión en Estructural de Pavimento El Coyal - Ruta 27 , 2013-2020

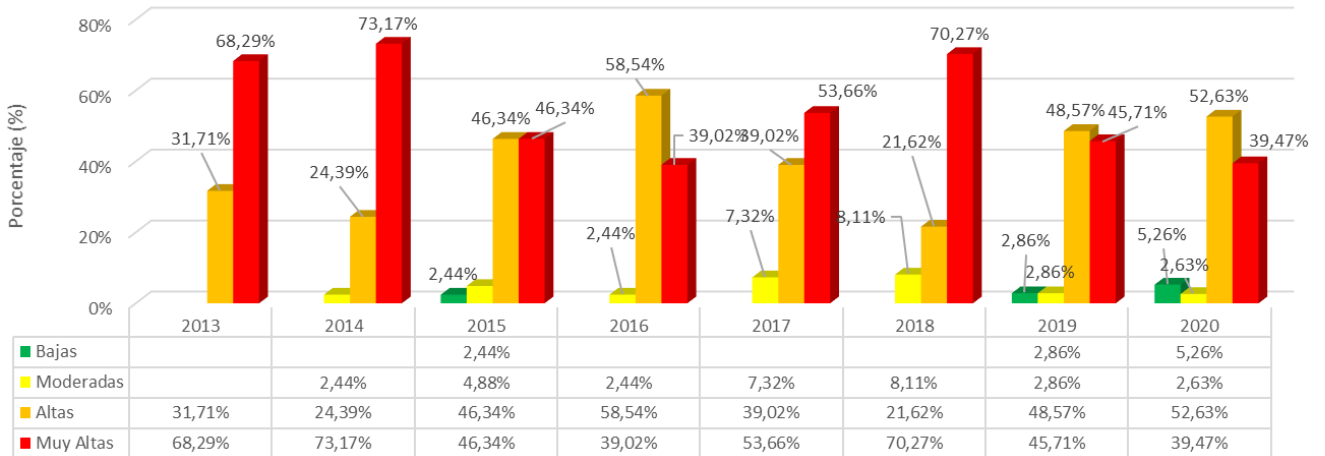
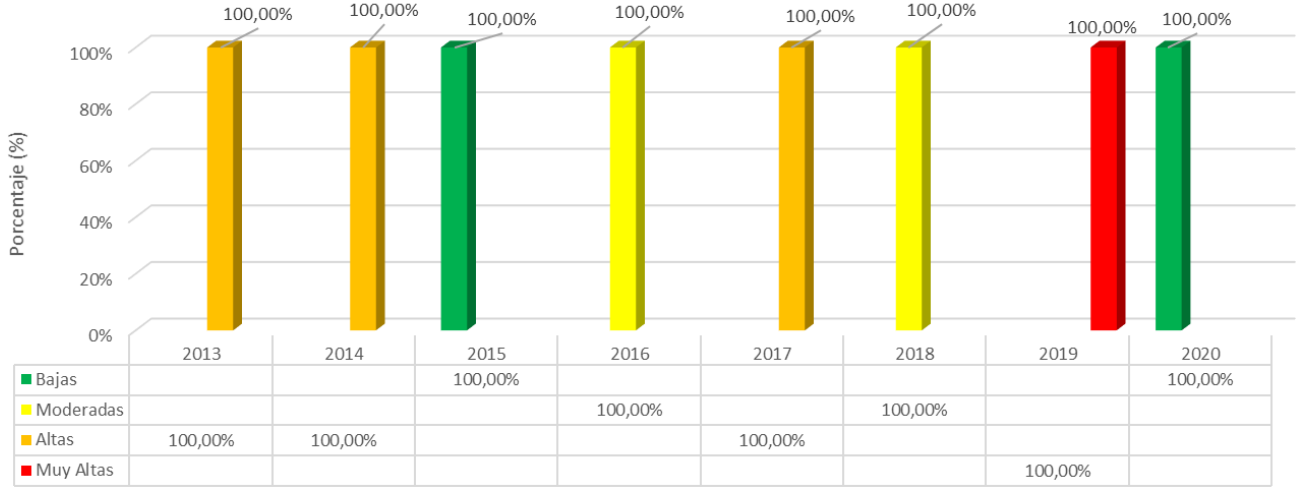


Figura 41. Comparativo Deflexiones de Radial El Coyal años 2013-2020





### Deflexión en Estructural de Pavimento Ruta 27 - Turrucare, 2013-2020



### Deflexión en Estructural de Pavimento Turrucare - Ruta 27, 2013-2020

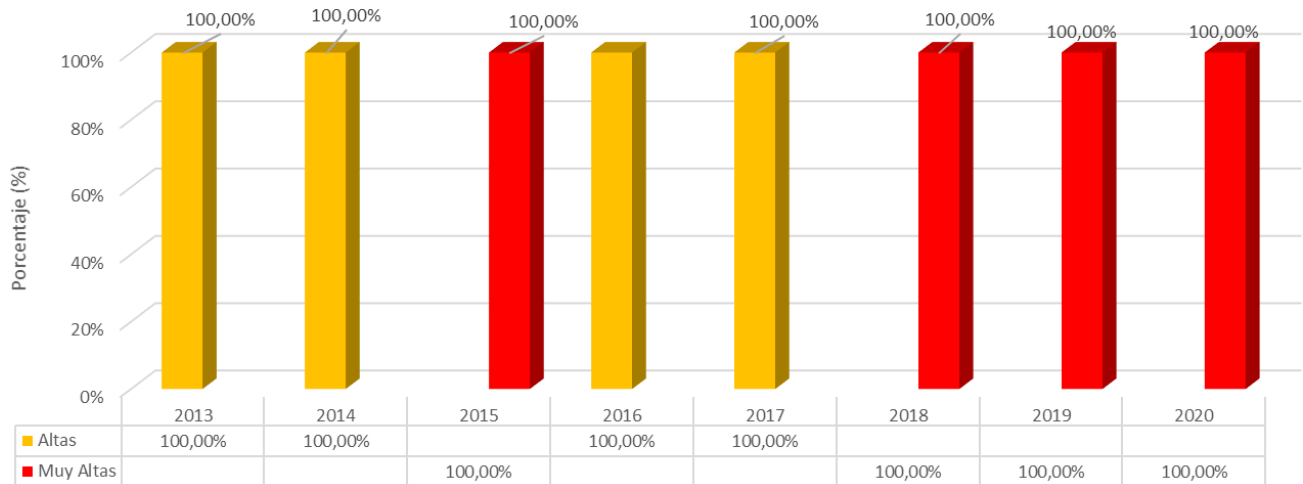
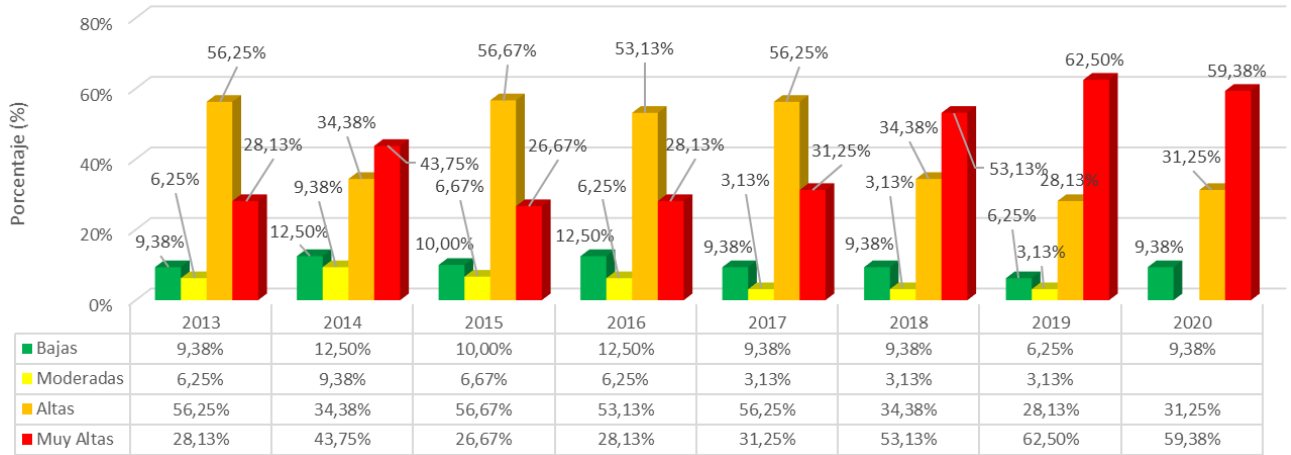


Figura 42. Comparativo Deflexiones de Radial Turrucare años 2013-2020



### Deflexión en Estructural de Pavimento Ruta 27 - Atenas, 2013-2020



### Deflexión en Estructural de Pavimento Atenas - Ruta 27, 2013-2020

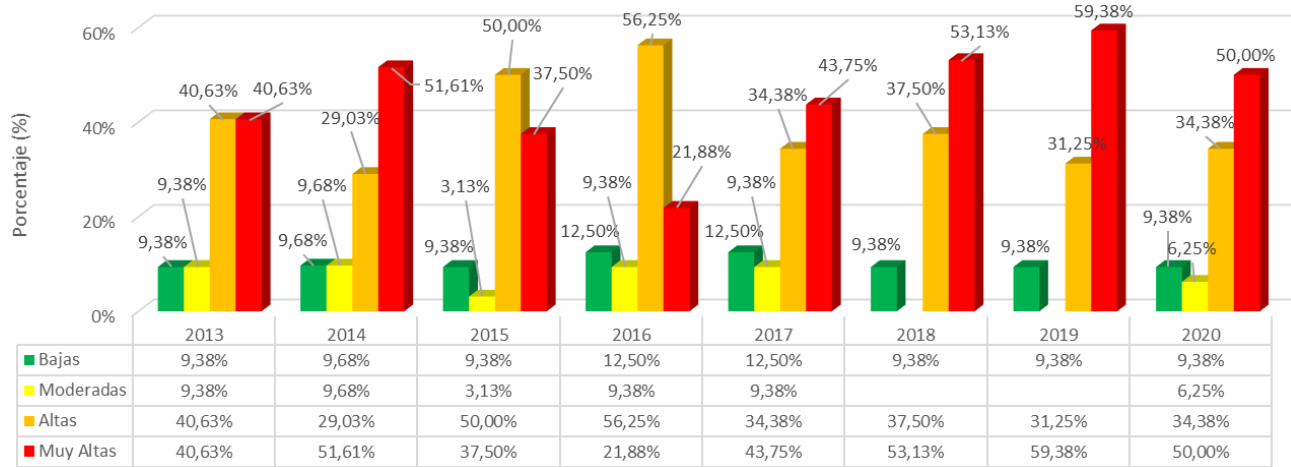
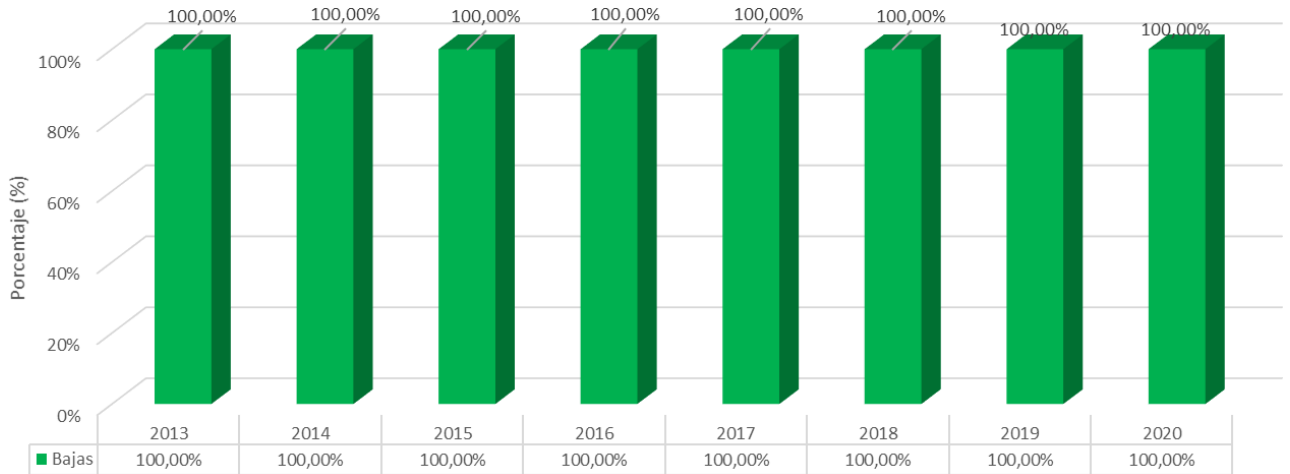


Figura 43. Comparativo Deflexiones de Radial Atenas años 2013-2020



### Deflexión en Estructural de Pavimento Ruta 27 - Escobal, 2013-2020



### Deflexión en Estructural de Pavimento Escobal - Ruta 27, 2013-2020

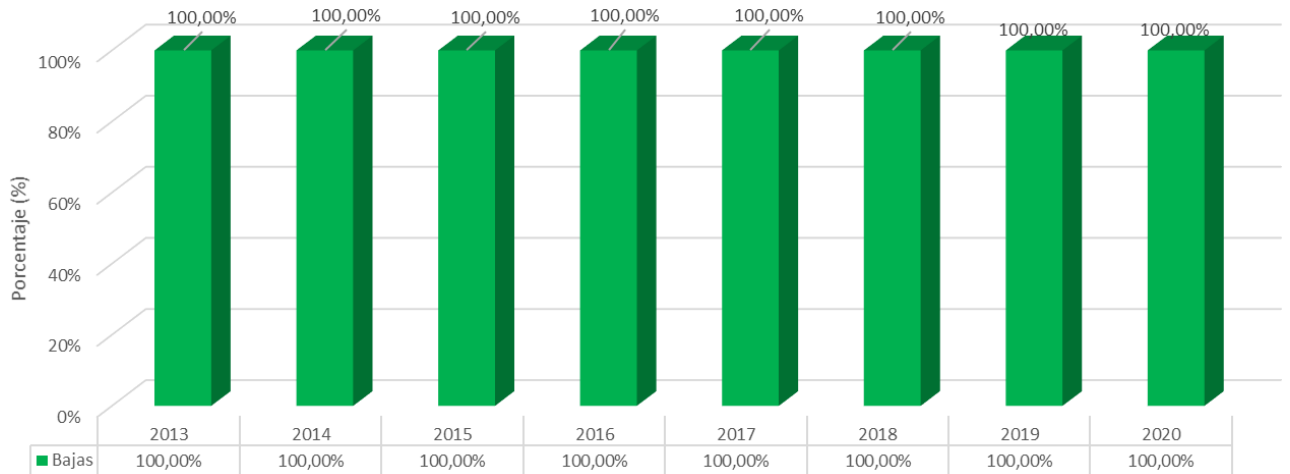


Figura 44. Comparativo Deflexiones de Radial Escobal años 2013-2020



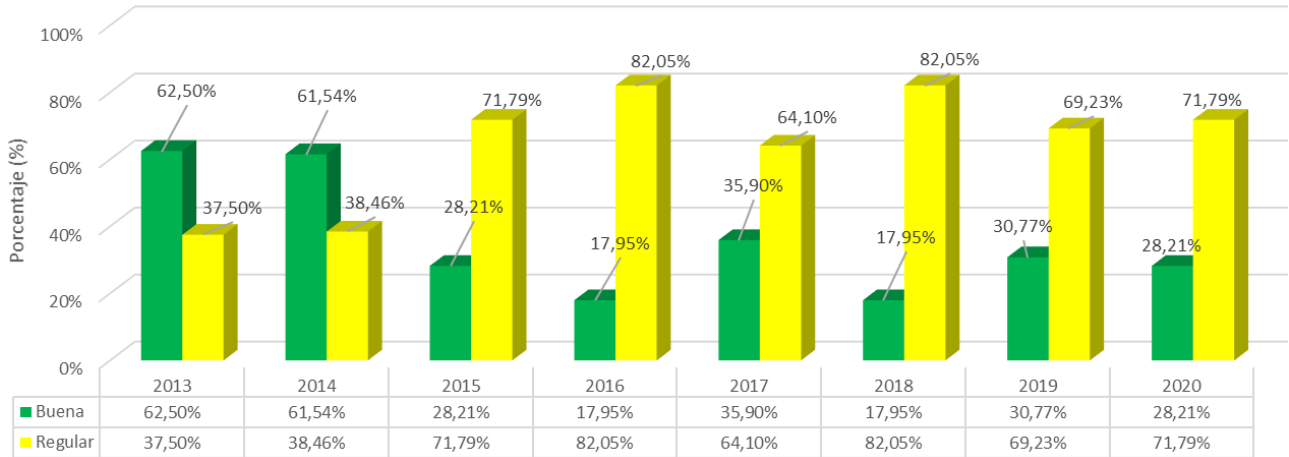
### 5.7.2 Evaluación con el perfilómetro láser superficial

En las Figura 43, Figura 44, Figura 45 y Figura 46, se muestra la comparación de resultados obtenidos en la evaluación de la regularidad superficial, para las campañas 2013 a 2020. A continuación, se analiza esta información:

- **Radial El Coyal:**
  - En el sentido Ruta 27 – El Coyal para los años 2013 y 2014 se presentaba una condición superficial buena, aunque a partir del 2015 hay un cambio significativo pasando a la condición regular de forma dominante hasta el año 2020.
  - En el sentido El Coyal – Ruta 27 entre los años 2013 y 2015 se presentaba una mayor presencia de una condición buena, a partir del año 2016 hay una tendencia muy marcada en el incremento de la condición regular con un leve cambio a la mejora en los años 2019 y 2020.
- **Radial a Turrúcares:**
  - En el sentido Ruta 27 – Turrúcares se puede observar, en el 2013 se contaba con una condición muy deficiente, presentando una mejora que se mantuvo entre el 2014 y 2018 en una condición regular y para los años 2019 y 2020 presenta una mejora más, situando este indicador en una condición buena.
  - En el sentido Turrúcares – Ruta 27 se tuvo que entre el 2013 al 2016 estuvo variando la condición entre deficiente y muy deficiente, mejorando su condición a partir del año 2017 a la categoría de regular.
- **Radial Atenas:**
  - En el sentido Ruta 27 – Atenas desde el año 2013 cuenta mayoritariamente una condición regular, a partir del año 2018 se observa el incremento de la condición deficiente, siendo la segunda condición más dominante.
  - En el sentido Atenas – Ruta 27 en los años 2018 al 2020 ha venido en incremento las categorías de regular, deficiente y muy deficiente, donde la condición regular, la cual es la que tiene mayor presencia en este tramo, paso de 65% en el 2018 a casi un 81% en el 2020.
- **Radial Escobal:**
  - En el sentido Ruta 27 – Escobal se presenta un comportamiento sostenido desde el 2013 hasta el 2019 con dominancia de la condición regular, para el año 2020 se presenta una variación que mejora la condición funcional, puesto que hay tramos con condición de muy buena y buena equiparado con la condición regular.
  - En el sentido Escobal – Ruta 27 ha mantenido la condición funcional en categoría regular desde al año 2013 hasta la actual evaluación.



### Capacidad Funcional Ruta 27 - El Coyol, 2013-2020



### Capacidad Funcional El Coyol - Ruta 27, 2013-2020

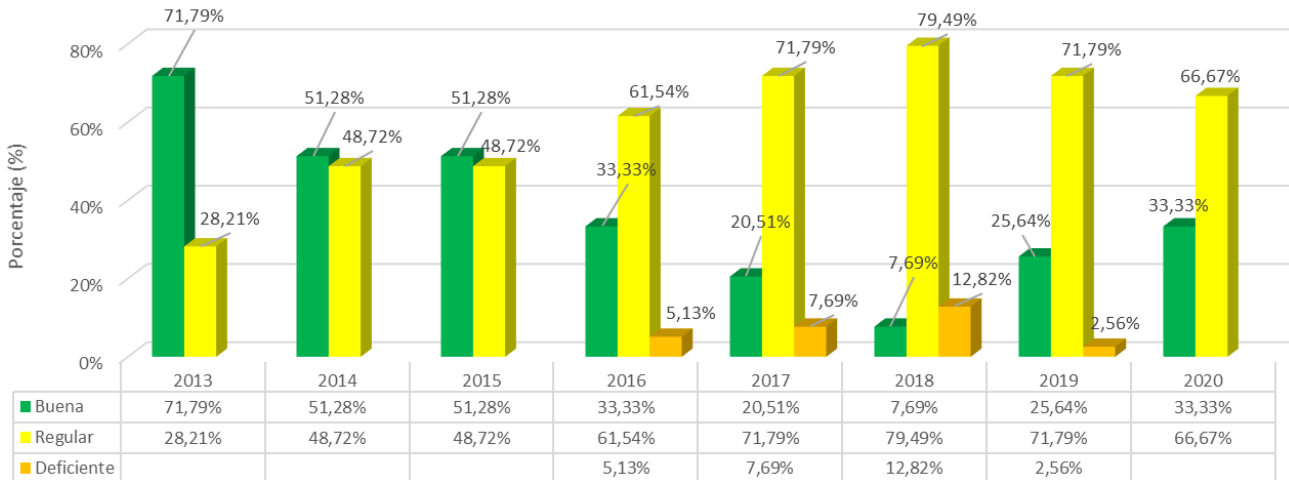
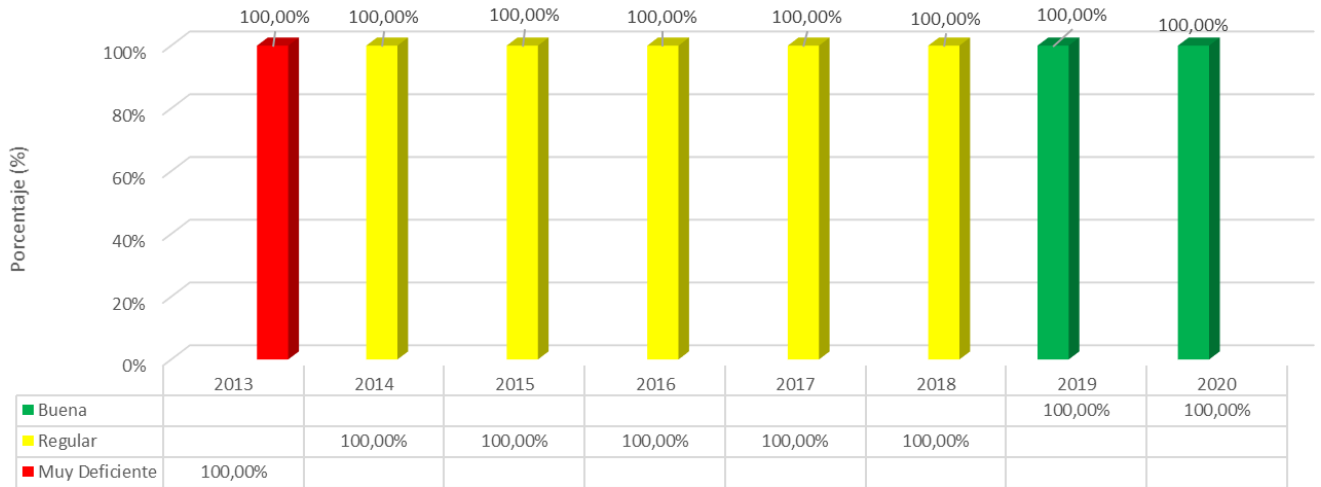


Figura 45. Comparativo Regularidad Superficial de Radial El Coyol años 2013-2020





### Capacidad Funcional Ruta 27 - Turrucares, 2013-2020



### Capacidad Funcional Turrucares - Ruta 27, 2013-2020

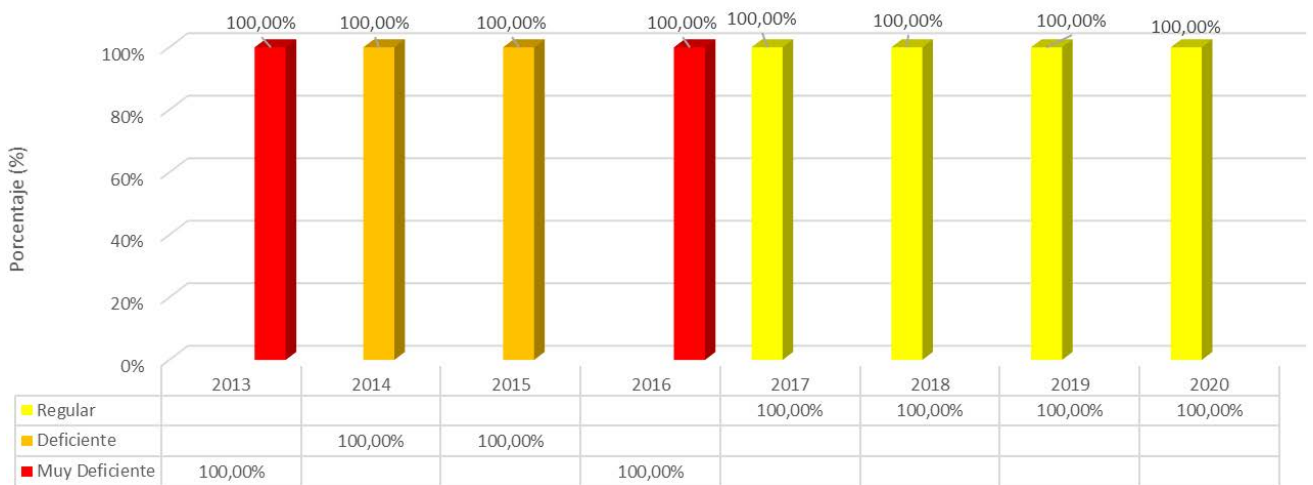
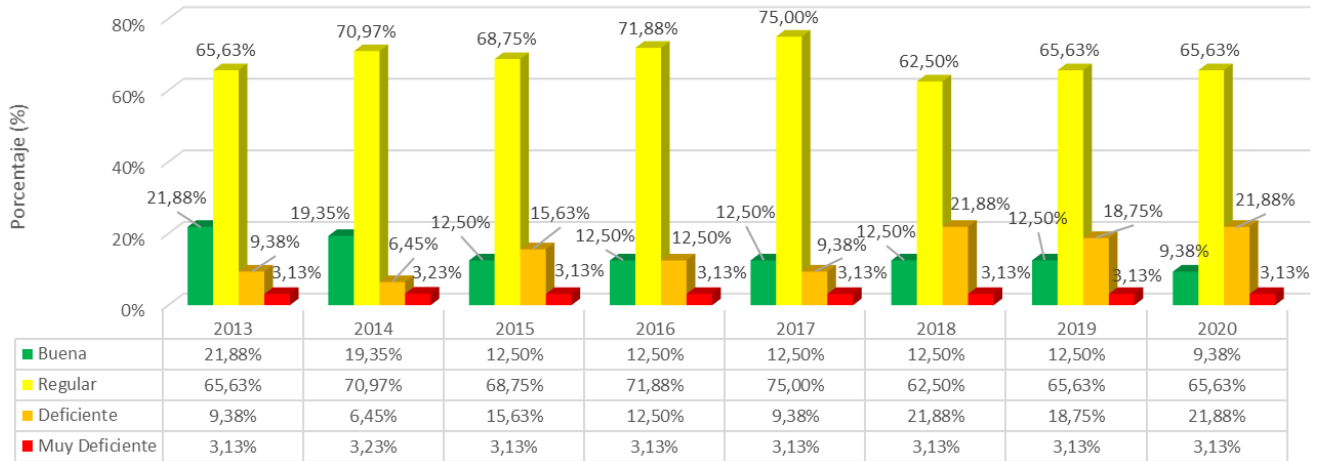


Figura 46. Comparativo Regularidad Superficial de Radial Turrúcares años 2013-2020



### Capacidad Funcional Ruta 27 - Atenas, 2013-2020



### Capacidad Funcional Atenas - Ruta 27, 2013-2020

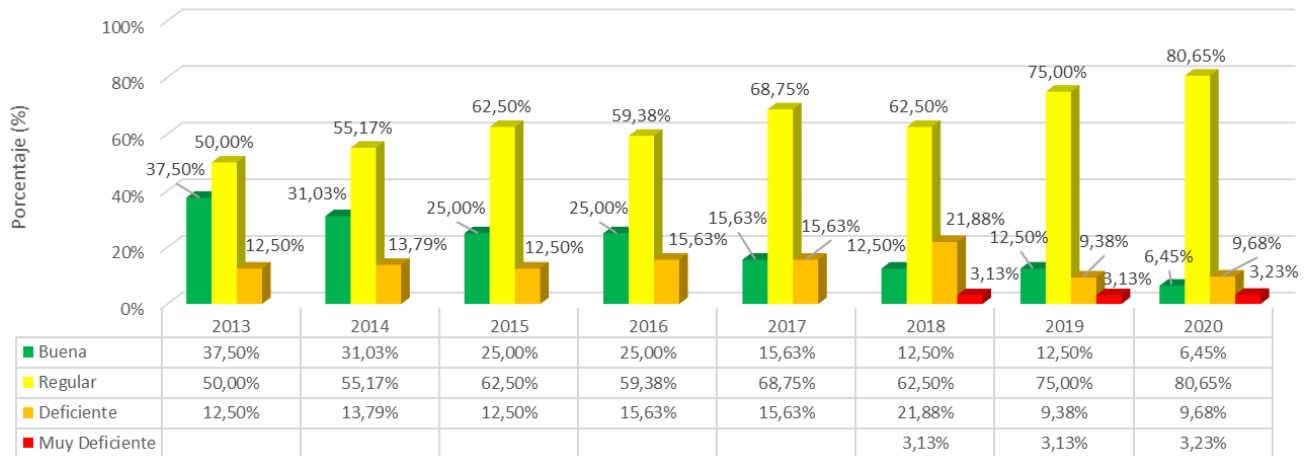
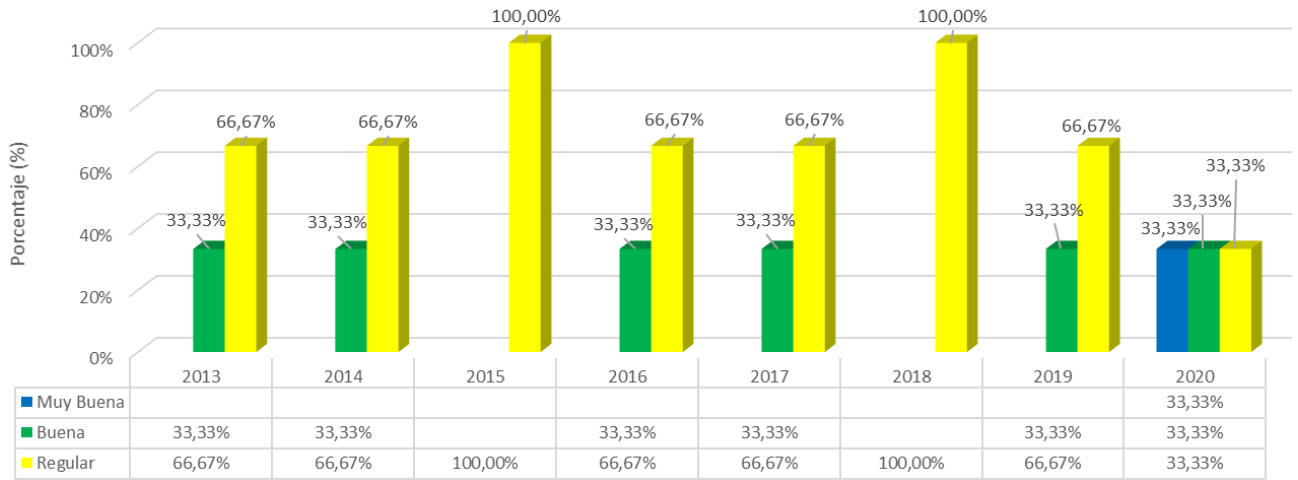


Figura 47. Comparativo Regularidad Superficial de Radial Atenas años 2013-2020



### Capacidad Funcional Ruta 27 - Escobal, 2013-2020



### Capacidad Funcional Escobal - Ruta 27, 2013-2020

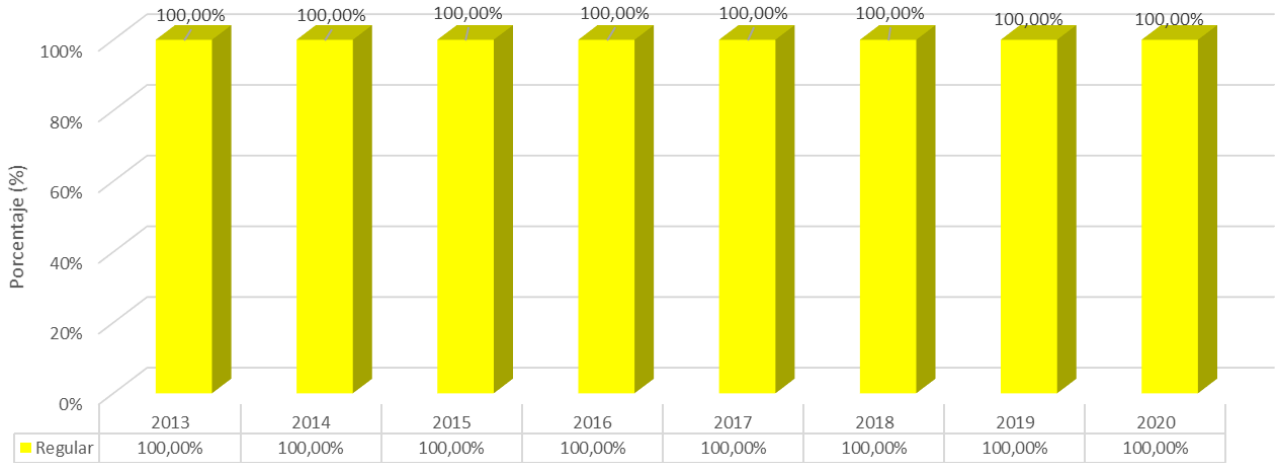


Figura 48. Comparativo Regularidad Superficial de Radial Escobal años 2013-2020



### 5.7.3 Evaluación con el medidor del coeficiente de rozamiento superficial

En las Figura 47, Figura 48, Figura 49 y Figura 50 se muestra la comparación de los resultados del ensayo con el GripTester para las radiales en las campañas del 2013 hasta el 2020. Al respecto se tienen tendencias variadas, tal y como se analizan a continuación:

- **Radial El Coyol**
  - Sentido Ruta Nacional 27-El Coyol: desde la evaluación del año 2013 a la fecha, no se habían vuelto a registrar condiciones en las que la categoría *Muy deslizante* presentara una ocurrencia del 0 %, condición que se repite para el año 2020. En los registros se evidenció un 70 % de la vía con *condición Poco deslizante* y 30 % *Deslizante*.
  - Sentido El Coyol-Ruta Nacional 27: el estado anual ha sido variable, dentro de los que predomina una tendencia desde el año 2016 a la fecha de presentar tramos de vía predominantemente con condiciones de *Muy deslizantes* a *Deslizantes*. Para la presente evaluación se registró un 18 % en condición *Muy deslizante* y 63 % para la condición *Deslizante*, datos que en total suman un 81 % del trayecto con condiciones de riesgo.
  
- **Radial Turrúcares:**
  - Sentido Ruta 27-Turrúcares: no hay combinación de condiciones, sino que la condición identificada se presenta en la totalidad del tramo, 100%, en cada año. Lo anterior pues, en el 2013 es *Deslizante* y se mantiene constante durante el periodo que va del 2014 al 2017, terminando el 2018 y 2019 como *Muy deslizante* y al 2020 como *Deslizante*.
  - Sentido Turrúcares-Ruta 27: las condiciones varían del 2013 a la fecha generalmente en un 100 % con condición *Deslizante* y *Muy deslizante*, esto de forma consistente desde el año 2017 al 2020.
  
- **Radial Atenas:**
  - Sentido Ruta-27 Atenas: del 2013 al 2015 se presente una tendencia de *Poco deslizante* y algunos tramos *No deslizantes*. En el 2016 la condición *Deslizante* predomina con un 75%, estado que empeora en el 2017 al contar con un 53 % en condición *Deslizante* y un 34 % en condición *Muy deslizante*. Del 2017 al 2020 se observa una mejoría en el estado del coeficiente de rozamiento, pero no se alcanza en ningún año el estado *No deslizante*.
  - Sentido Atenas-Ruta 27: domina la condición *Poco deslizante*, con valores altos en el 2013, 2017, 2019 y 2020. El estado al 2020 en general empeoró con respecto al 2019, ya que aumentan los segmentos en condición *Muy deslizante* y desaparece el estado *No deslizante* de los registros.



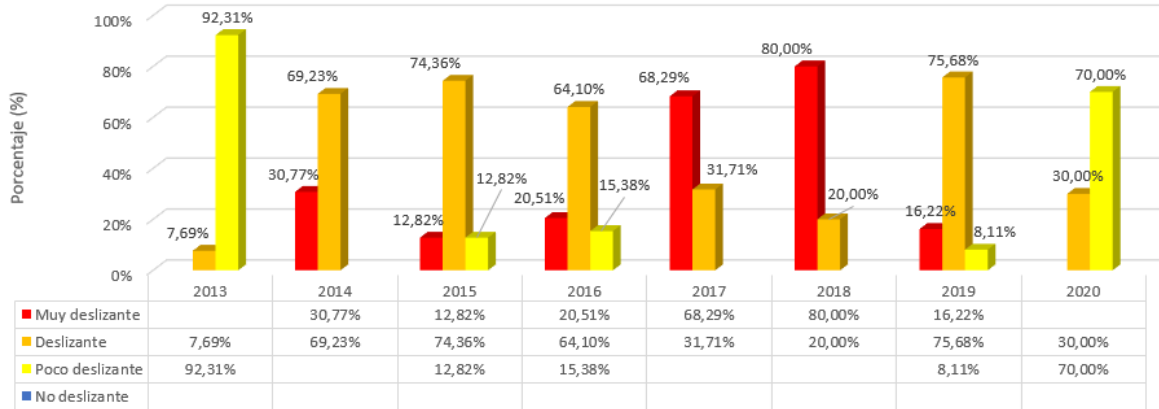
- **Radial Escobal:**

- Sentido Ruta 27-Escobal: en el 2013 domina la condición *Poco deslizante* seguido de *Deslizante*. En el 2014 toda su longitud llega a la condición *Muy deslizante*, al año siguiente mejora y toda su longitud cae en la condición de *Poco deslizante*. Desde el 2016 hasta el 2018 se mantiene como *Deslizante* y baja considerablemente en el 2019 pero, adicionalmente, surge de nuevo la condición de *Poco deslizante*. Para la condición 2020, se observan mejoras al pasar a un estado 100 % *Poco deslizante*.
- Sentido Escobal-Ruta 27: en el 2013 toda su longitud resulta *Poco deslizante* al año siguiente es totalmente *Muy deslizante*. Vuelve a *Poco deslizante* en el 2015 y en el 2016 presenta en su totalidad condición *Deslizante* y en el 2017 pasa a ser *Muy deslizante*. En el 2018 mejora la condición baja su condición a *Muy deslizante* (33%) y el resto de la longitud pasa a *Deslizante* (67%), cierra el 2019 con una condición *Poco Deslizante*. Al 2020 el estado empeora con respecto al año anterior y baja a un 100 % en condición *Deslizante*.





### Coeficiente Rozamiento GN Ruta 27 - El Coyal, 2013-2020



### Coeficiente Rozamiento GN El Coyal - Ruta 27, 2013-2020

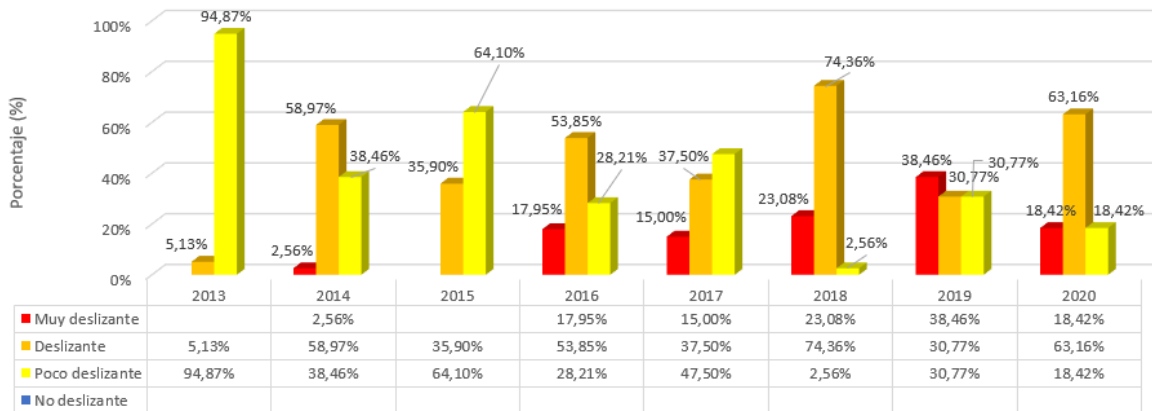
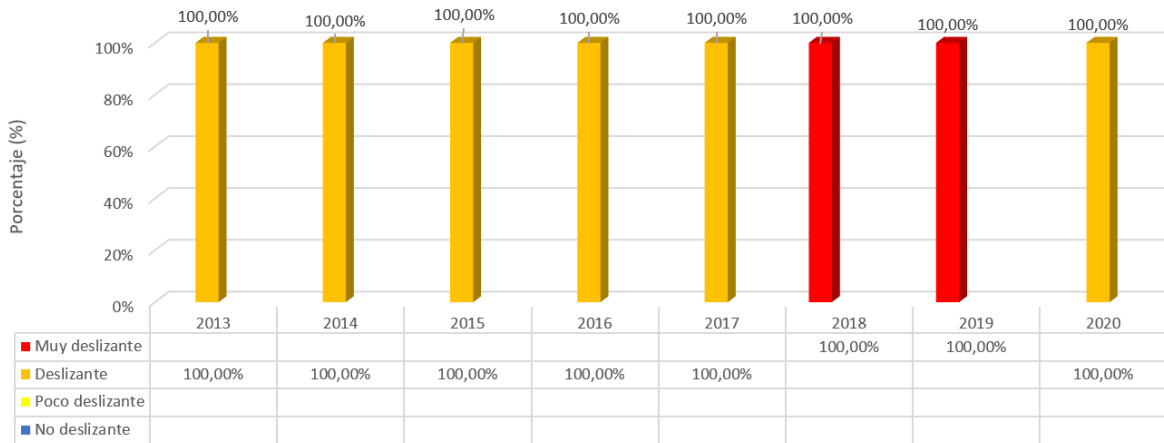


Figura 49. Comparativo Coeficiente de Rozamiento Superficial (GripTester) Radial El Coyal 2013-2020



### Coeficiente Rozamiento GN Ruta 27 - Turrúcares, 2013-2020



### Coeficiente Rozamiento GN Turrúcares - Ruta 27, 2013-2020

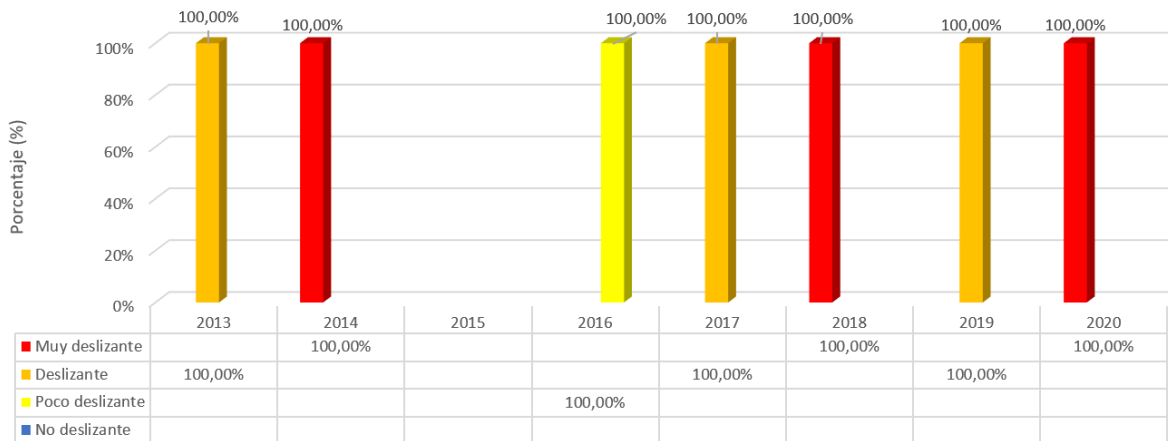
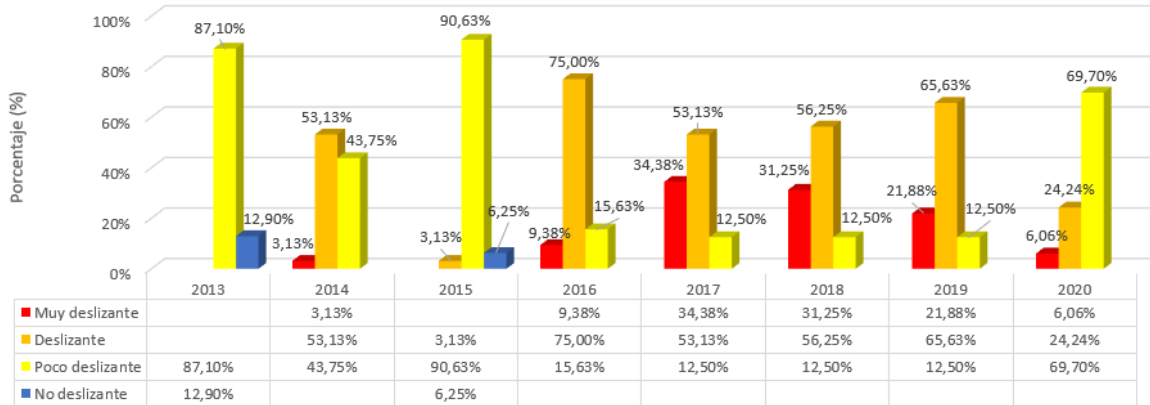


Figura 50. Comparativo Coeficiente de Rozamiento Superficial (GripTester) Radial Turrúcares 2013-2020



### Coeficiente Rozamiento GN Ruta 27 - Atenas, 2013-2020



### Coeficiente Rozamiento GN Atenas - Ruta 27, 2013-2020

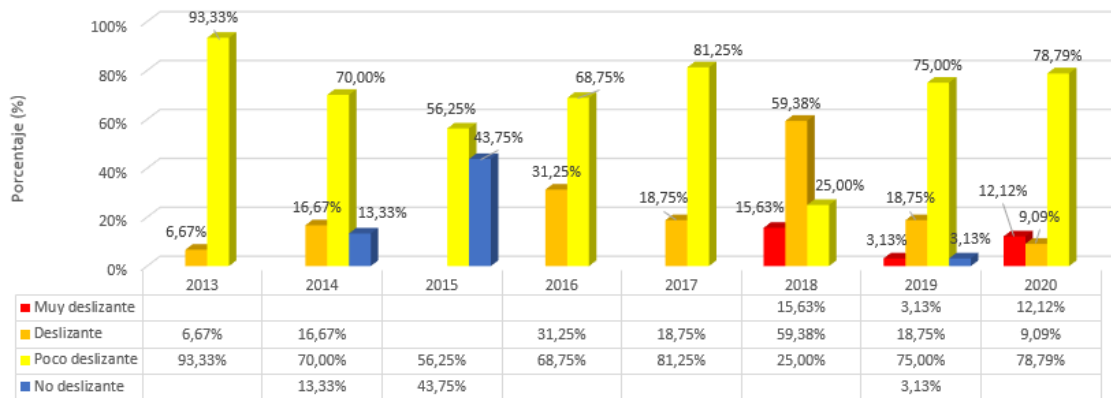
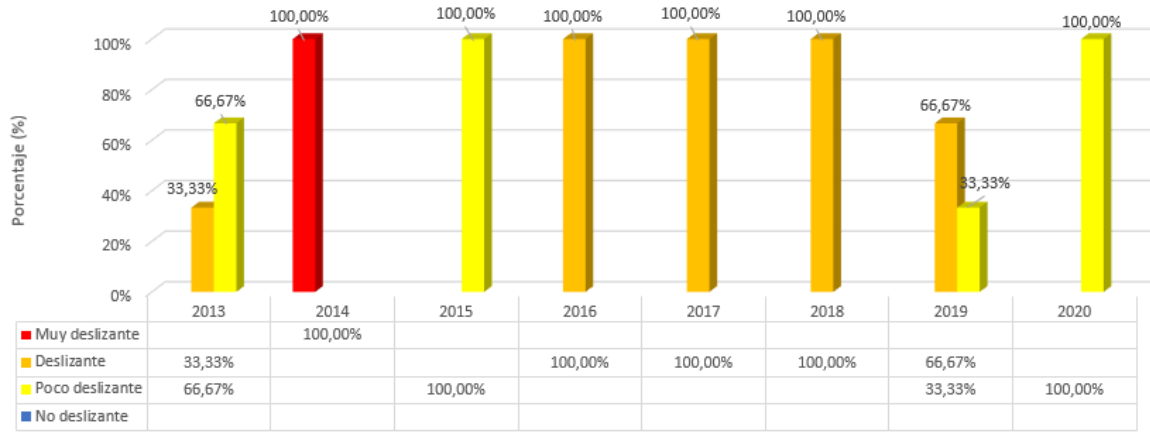


Figura 51. Comparativo Coeficiente de Rozamiento Superficial (GripTester) Radial Atenas 2013-2020



### Coeficiente Rozamiento GN Ruta 27 - Escobal, 2013-2020



### Coeficiente Rozamiento GN Escobal - Ruta 27, 2013-2020

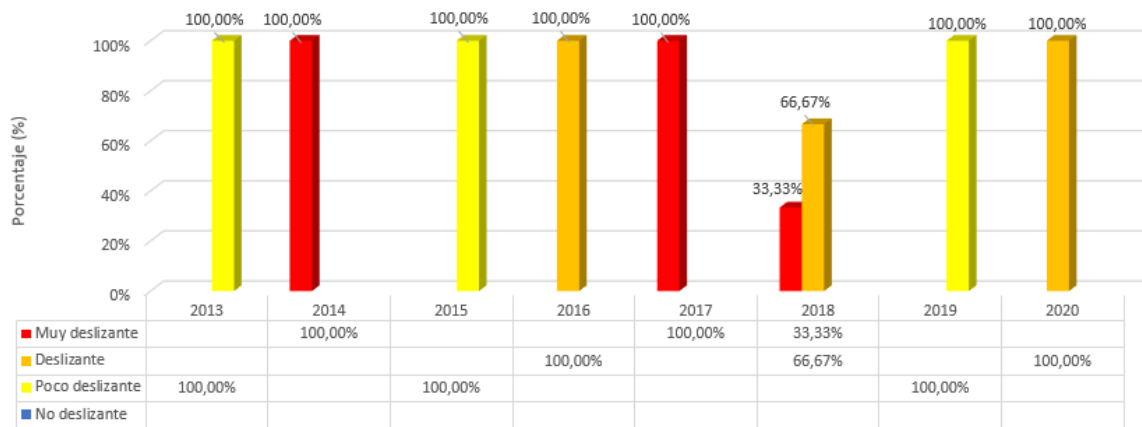


Figura 52. Comparativo Coeficiente de Rozamiento Superficial (GripTester) Radial Escobal 2013-2020



5.7.4 Evaluación visual de Deterioro Superficial.

Al desglosar los deterioros por tipo para el periodo de evaluación 2014 – 2020, el mayor porcentaje por área lo ocupa el conocido como piel de lagarto, seguido del bacheo (Figura 51, Figura 52 y Figura 53). Destaca el incremento importante en el área afectada por piel de lagarto, para el año 2020, en las radiales analizadas.

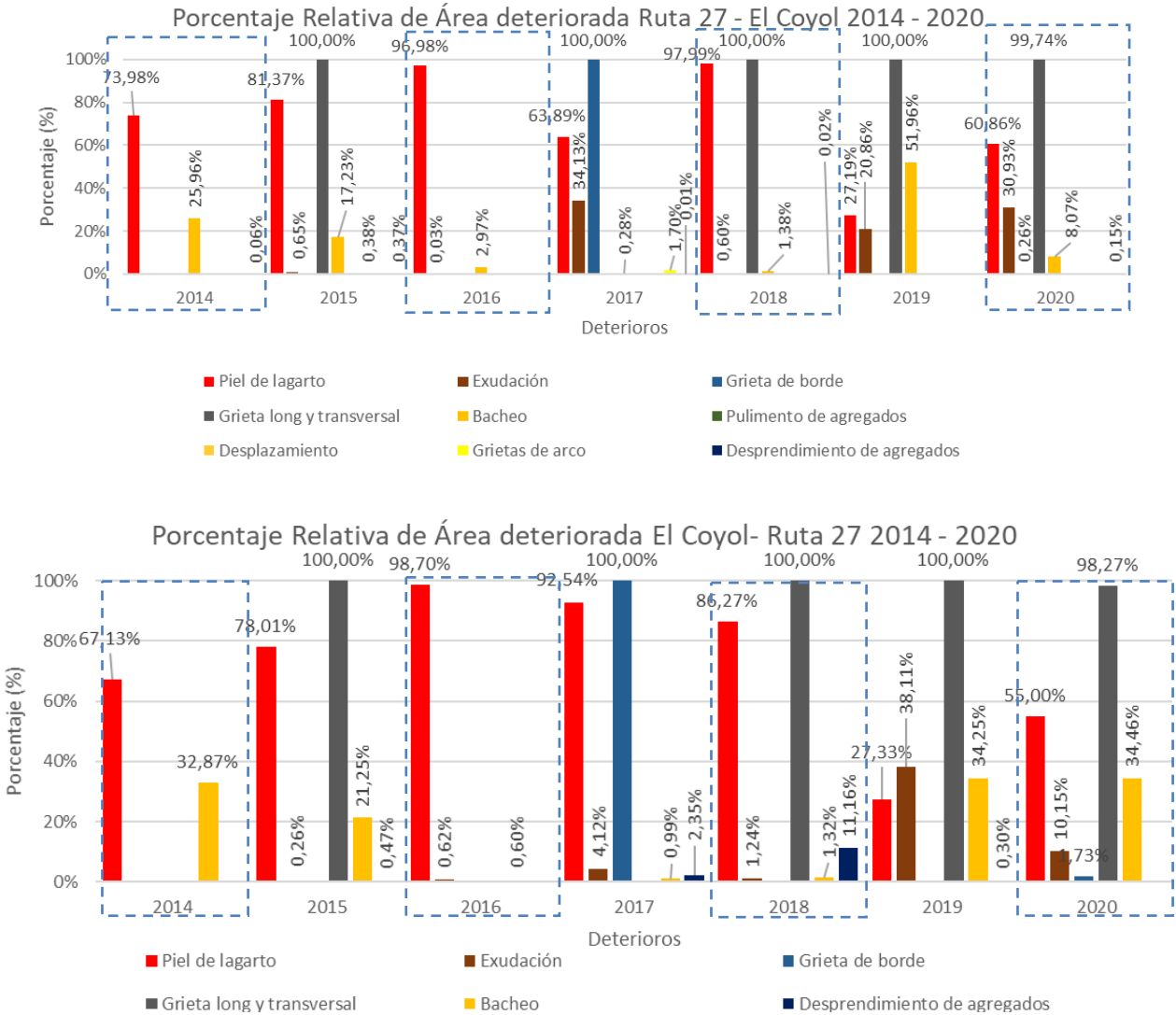


Figura 53. Condición superficial en Radial El Coyoil



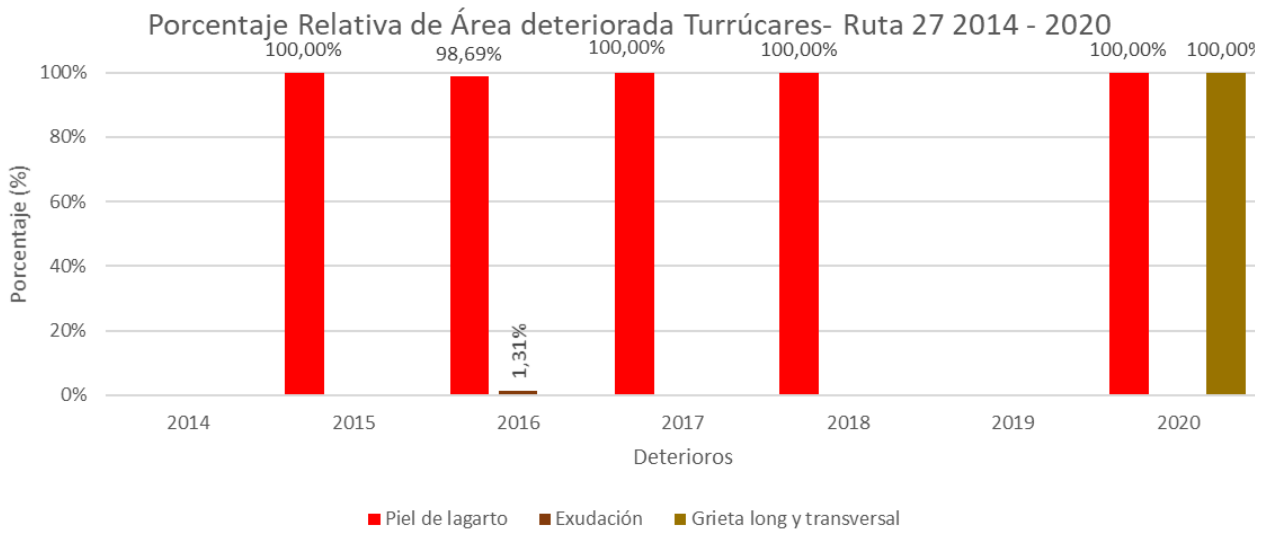
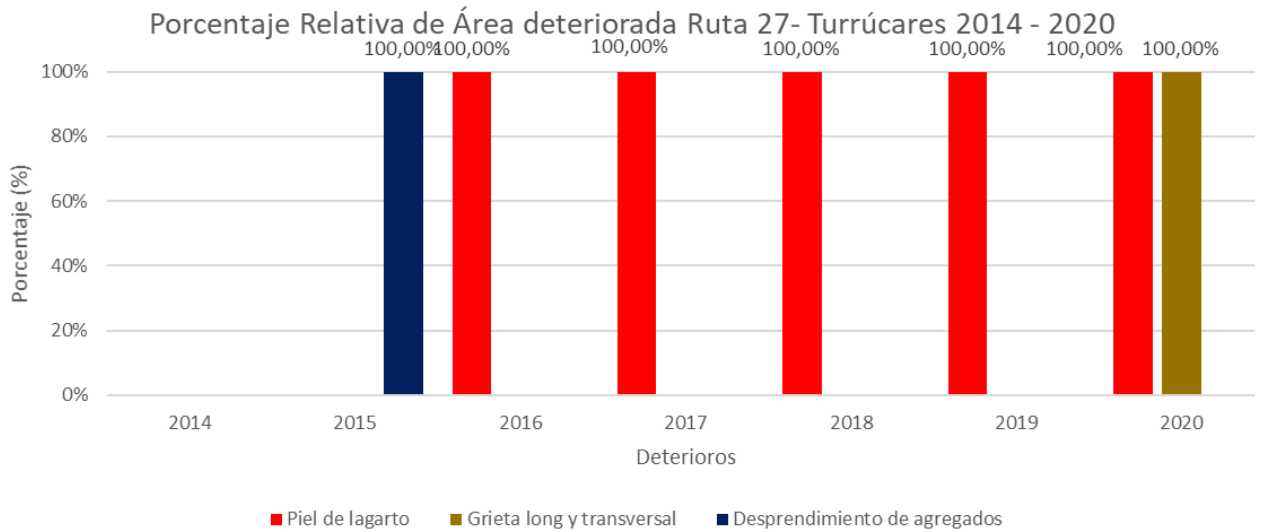
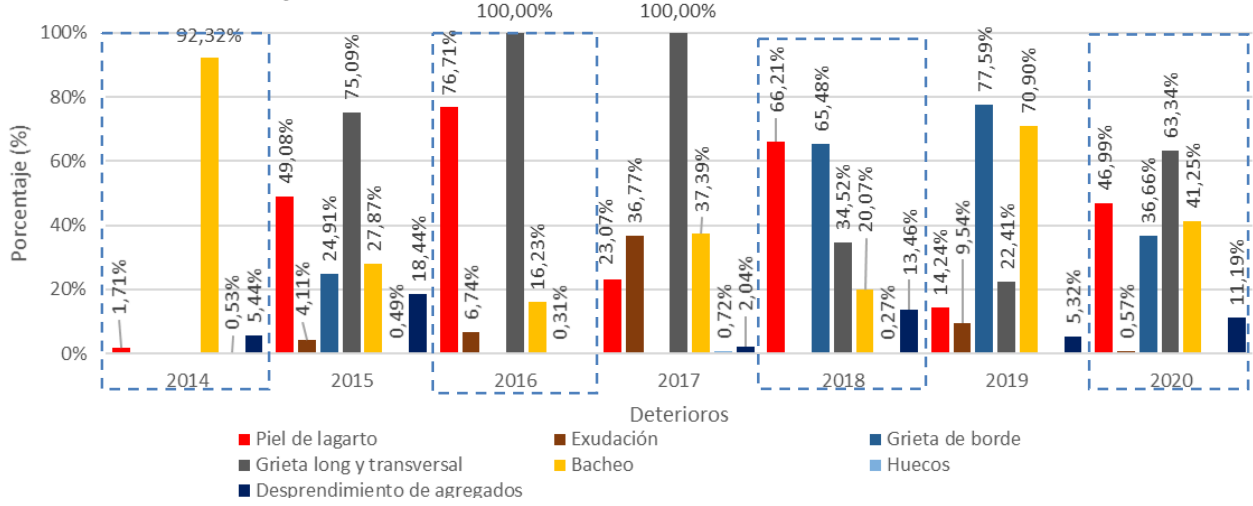


Figura 54. Condición superficial en Radial Turrúcares



Porcentaje Relativa de Área deteriorada Ruta 27 - Atenas 2014 - 2020



Porcentaje Relativa de Área deteriorada Atenas - Ruta 27 2014 - 2020

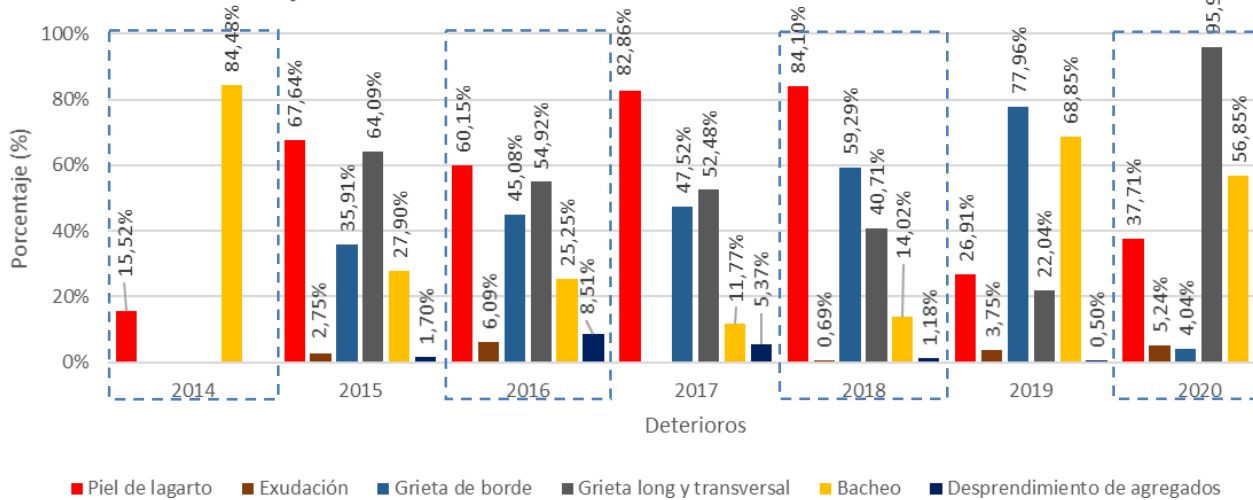


Figura 55. Condición superficial en Radial Atenas



## 6 Modelos de Deterioro

Los modelos de deterioro son una herramienta que, dentro del marco de la administración de pavimentos, permiten predecir de manera aproximada el daño que éstos pueden sufrir a lo largo de su vida útil. Básicamente, son modelos matemáticos que toman en cuenta varias variables, con el fin de determinar el estado a futuro, de tramos dentro de la infraestructura vial. Estos modelos surgen a partir de desarrollos empíricos, los cuales se originan en bases de datos reales de pavimentos existentes, con información que cubre estado actual, tránsito, datos de diseño, entre otros.

Existen los modelos probabilísticos, que estudian las relaciones entre las variables seleccionadas, usando estadísticas y modelos de probabilidad, para predecir condiciones a futuro. Por su parte, los modelos determinísticos hacen uso de las propiedades físicas y mecánicas de las capas que componen un pavimento, para predecir dicha condición a futuro. Para la aplicación del modelo de deterioro a esta ruta, se utiliza un modelo determinístico, el cual será presentado a continuación.

### 6.1 Aplicación del Modelo de Deterioro

En el informe *LM-PI-UMP-010-R1* (Aguar, Ávila, Badilla, 2013) se determina la correlación entre los parámetros subjetivos de serviciabilidad de un pavimento *PSI* a través de la percepción humana, con los valores objetivos de *IRI*, para Costa Rica, usando para ello la metodología aplicada por la *AASHTO*. El modelo obtenido se muestra en la Tabla 8.

Tabla 8. Rango de aplicación del Modelo para el cálculo del PSI Costa Rica

Modelo	Rango de Aplicación*
1. $PSI_{CR} = 0,015 * IRI^2 - 0,470 * IRI + 4,989$	0 – 10 m/km

\* Rango de aplicación se refiere a los valores permitidos de *IRI* donde el modelo es válido.

Para el análisis de curvas de deterioro en la Ruta Nacional 27, solo para la troncal, se utilizaron los valores del *IRI* medidos a partir del año 2011 en ambos sentidos de la vía, con una frecuencia de cada 100 m, sin considerar las singularidades de la carretera que puedan alterar sus valores. Con base en la estructura presente, se segmentó la ruta en 4 secciones homogéneas, las cuales se muestran en la Tabla 9.

Tabla 9. Secciones de control

Tramo	Estacionamiento
1	0+000 a 3+605
2	3+605 a 14+025
3	14+025 a 51+720
4	51+720 a 76+310



Con los valores de IRI para cada tramo homogéneo de cada sentido de la ruta, se calculó el PSI según lo mostrado en la Tabla 9. Con esto, se procede a graficar los valores obtenidos para cada año: el modelo de deterioro para dicho tramo será por tanto la curva de mejor ajuste. Un ejemplo de curva obtenida, se muestra en la Figura 54.

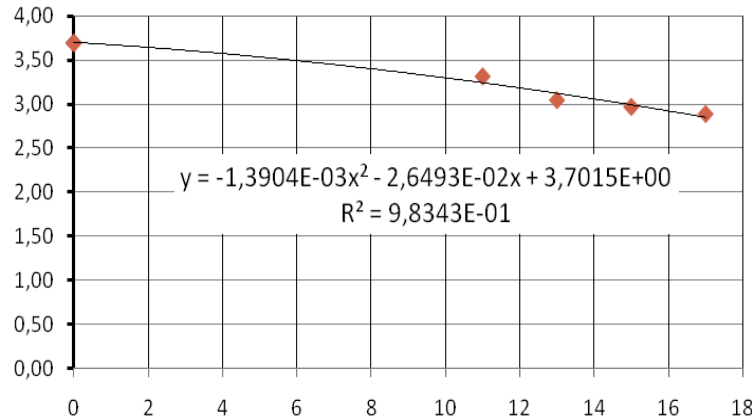


Figura 56. Ejemplo de curva obtenida a partir de los datos del PSI

En la Figura 55 se muestra como una ecuación cuadrática característica de un tramo evaluado, permite proyectar la condición funcional de una sección en años posteriores (línea verde).

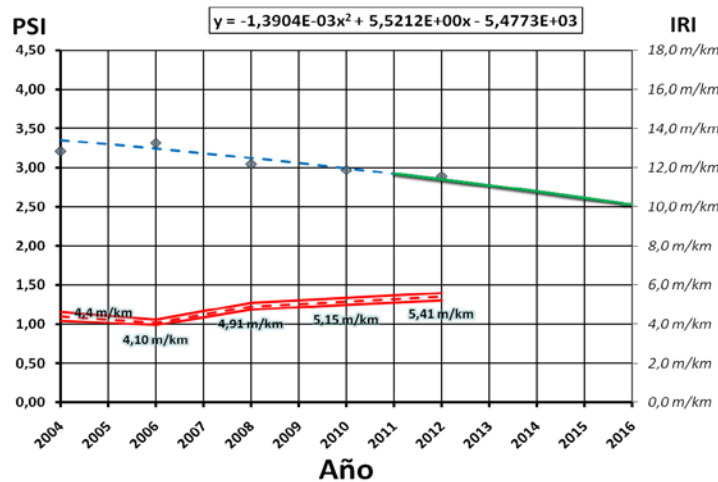


Figura 57. Gráfica ejemplo PSI vs Año, e IRI vs Año

El valor del  $R^2$  obtenido con la curva de mejor ajuste, no es el más acertado para describir modelos de esta naturaleza. Por lo tanto, se utiliza un coeficiente de determinación ajustado, definido por

$$R^2 = 1 - \frac{SSE}{SST}$$



donde el valor  $SSE$  es el enfoque del análisis de varianza que utiliza la suma cuadrática de los errores, definido como

$$SSE = \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2$$

y el valor  $SST$  es la suma total de los cuadrados corregida, que representa la variación en los valores de respuesta que idealmente serían explicados en el modelo

$$SST = \sum_{i=1}^n y_i^2 - \frac{1}{n} \left( \sum_{i=1}^n y_i \right)^2$$

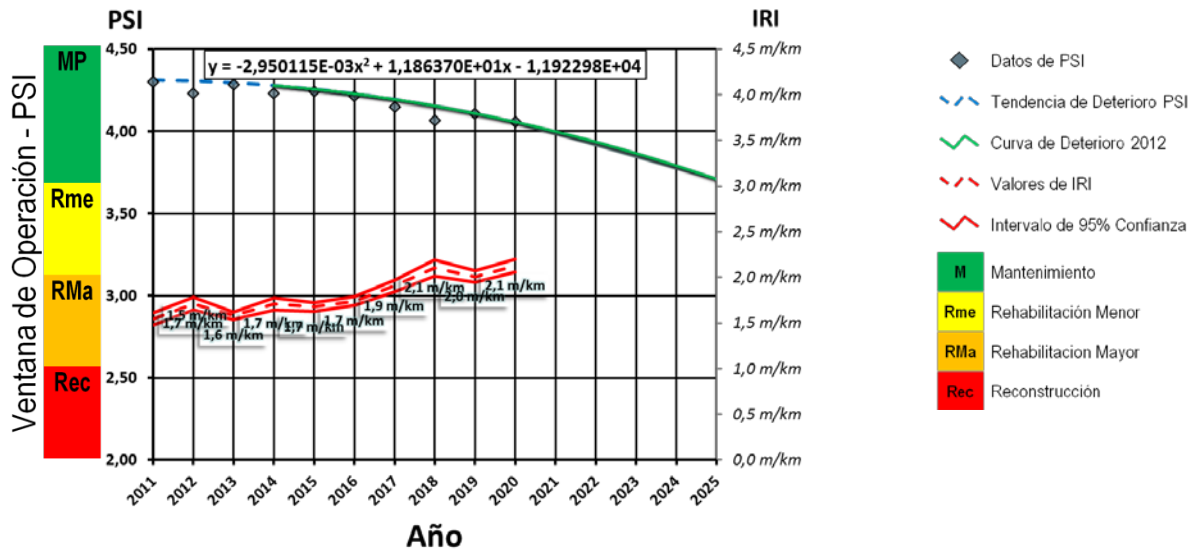
Los valores teóricos obtenidos del análisis están representados por  $\hat{y}_i$ , los valores reales (aquellos de la base de datos de las evaluaciones) están representados por  $y_i$ , y  $n$  representa el número de datos usados para determinar la envolvente de la curva de deterioro.

Luego de obtener el análisis completo de cada tramo homogéneo, se procede a realizar una ficha representativa donde se muestra el resumen de los parámetros utilizados y valores obtenidos, como se muestra en las Figura 56 y Figura 57.





Modelo de Deterioro - PSI CR						
Ruta:	Sección:	Red:	TPD 2013:	Longitud:	Pavimento:	Lastre:
27	3,1	Concesión	3000	37,70 km	100%	0%



Ecuación general	Tendencia	Curva de Deterioro 2016			Intervenciones
$Y = A \cdot (X_{año})^2 + B \cdot (X_{año}) + C$	R <sup>2</sup> :	A:	B:	C:	0
	0,9935	-2,9501150E-03	1,1863704E+01	-1,1922977E+04	

Datos								
Año	n	S (m/km)	Curtosis	IRI (m/km)	Intervalo 95% (m/km)	PSI	Nota Q	Estrategia Recomendada
2011	368	0,65	12,50	1,54	0,07	4,30	Q2	ChS3(TS3)
2012	362	0,69	12,00	1,71	0,07	4,23	Q2	ChS3(TS3)
2013	361	0,39	1,22	1,58	0,04	4,28	Q1	ChS1(TS1)
2014	362	0,63	10,68	1,71	0,06	4,23	Q2	ChS3(TS3)
2015	360	0,49	1,56	1,68	0,05	4,24	Q1	ChS1(TS1)
2016	357	0,44	0,24	1,74	0,05	4,22	0	0
2017	364	0,62	10,14	1,91	0,06	4,15	Q2	ChS3(TS3)
2018	365	0,87	8,59	2,10	0,09	4,07	Q2	ChS2(TS2),ChS3(TS3)
2019	368	0,63	7,62	2,01	0,06	4,11	Q2	ChS2(TS2),ChS3(TS3)
2020	377	0,68	7,95	2,13	0,07	4,06	Q2	0

Ubicación		
Provincia	ALAJUELA	14+025 A 51+720
Cantón	VARIOS	

Figura 58: Modelo de deterioro para el tramo 3, sentido San José - Caldera.

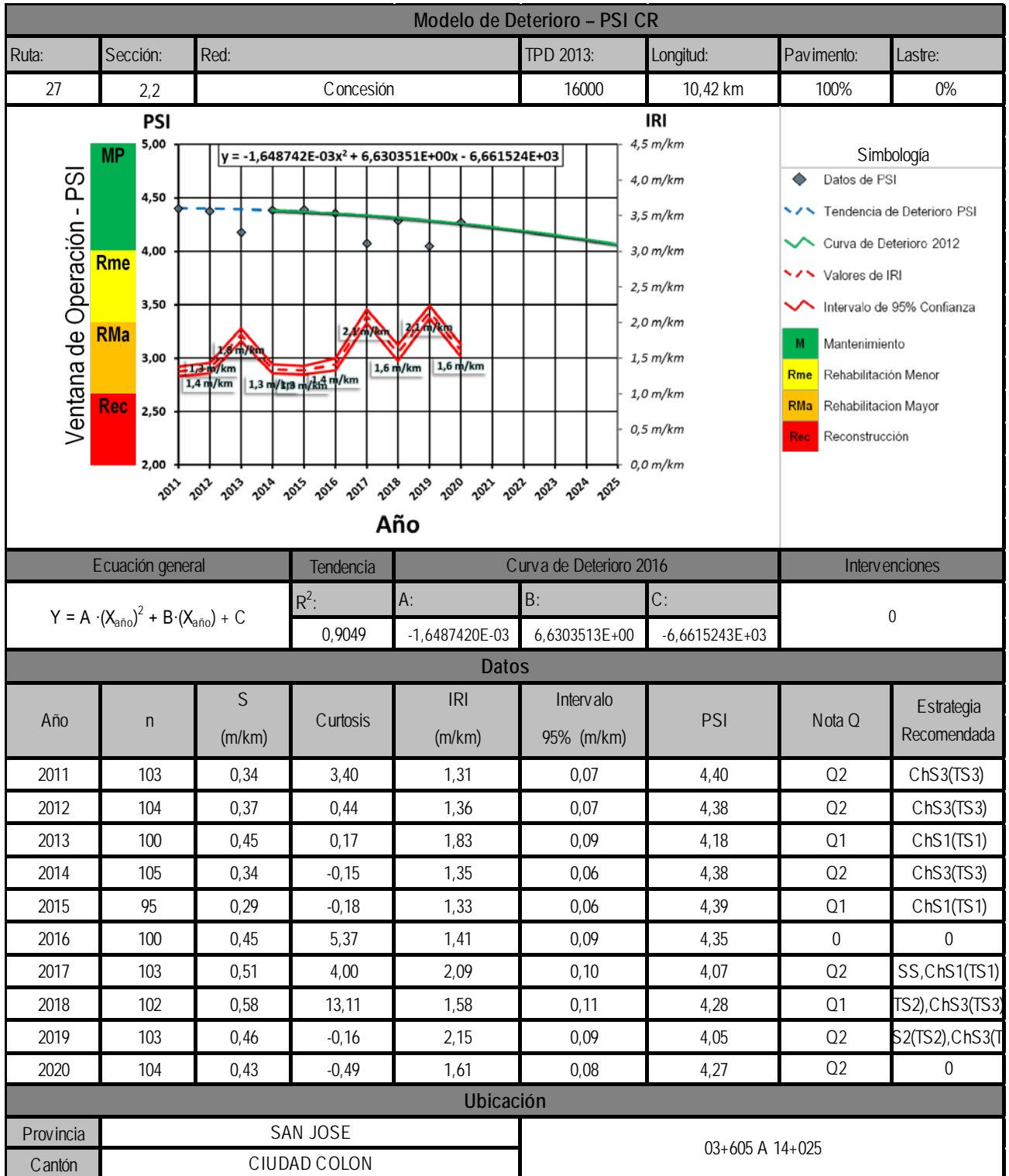


Figura 59: Modelo de deterioro para el tramo 2, sentido Caldera - San José.

## 6.2 Análisis de Resultados

Partiendo de que un pavimento nuevo presenta un valor de PSI cercano a 4,5 y que se va deteriorando en el tiempo con el paso de las cargas vehiculares y las condiciones climáticas, reduciendo dicho valor. Al analizar este índice a lo largo de la vida de un proyecto, es posible establecer umbrales para realizar intervenciones, con el objeto de conservar el nivel de servicio en niveles óptimos (Figura 58).

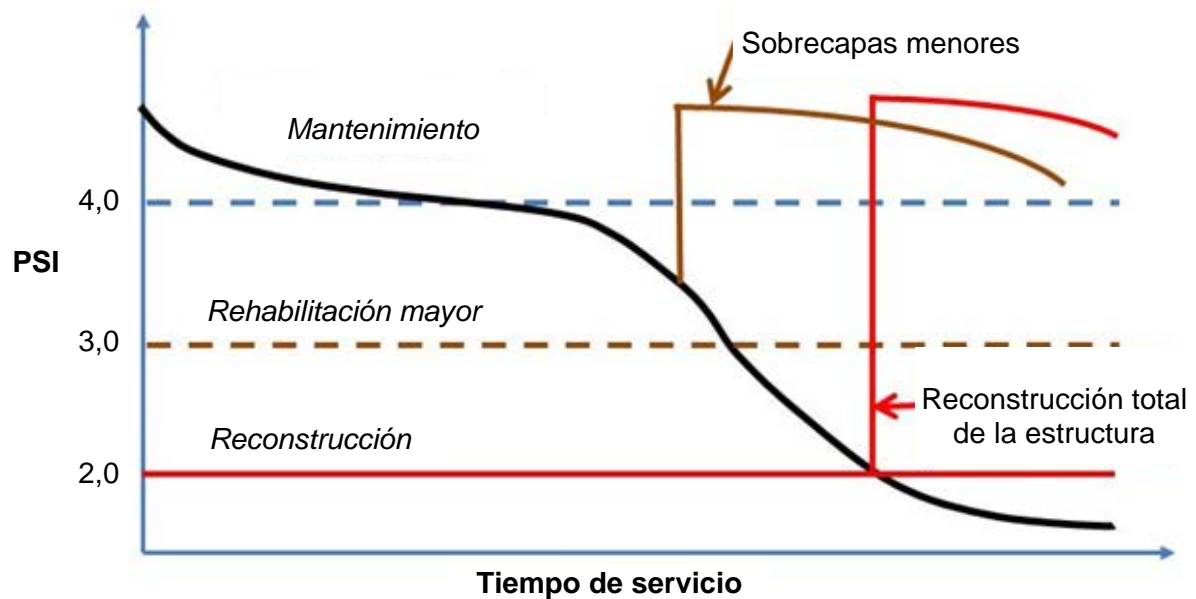


Figura 60. Concepto del PSI, y el respectivo cambio del valor con el tiempo para un pavimento (línea negra), contra valores umbral (líneas horizontales).

La figura anterior muestra el cambio del índice de serviciabilidad para un pavimento a lo largo de su tiempo de servicio. Es posible, mediante intervenciones menores, conservar valores PSI altos. A nivel internacional, es aceptado que cuando un pavimento llega a un valor de PSI igual a tres, se alcanza un punto en el que, para recuperar una condición cercana a la inicial, es necesario realizar una rehabilitación mayor (curva café). Asimismo, cuando se alcanzan valores cercanos a dos, el tipo de intervención es su reconstrucción total (curva roja), con el impacto económico y de tiempo que esto significa.

Con los modelos de deterioro explicados en la sección anterior, es posible obtener la tendencia del cambio del valor *PSI* para cada tramo homogéneo, estableciendo el punto en el tiempo en el que el mismo alcanzará un valor de tres (*rehabilitación mayor*). Si bien en cada tramo, año con año se realizan intervenciones en puntos específicos, lo que se analiza acá es la tendencia del cambio del valor del PSI para la totalidad del tramo homogéneo, por lo que el modelo es aplicable. Además, con cada evaluación sucesiva a partir de ésta, se obtendrá el nuevo valor del PSI, el cual permitirá ir calibrando la curva de manera más precisa.



Con los modelos de deterioro obtenidos (y cuya totalidad se muestra en el Anexo VI), la Tabla 10 muestra el resumen de resultados, con el valor PSI de la presente evaluación, así como el tiempo necesario en años, para alcanzar el valor de 3.

Tabla 10, Año en el que el PSI alcanza el valor de 3,0 (umbral de rehabilitación mayor)

Tramo	Sentido	Descripción	PSI-2020	PSI=3	PSI	Delta años
1,1	San José - Caldera	0+000 A 03+605	4,24	2035	3,75	15
2,1	San José - Caldera	03+605 A 14+025	4,24	2035	4,20	15
3,1	San José - Caldera	14+025 A 51+720	4,06	2031	3,10	11
4,1	San José - Caldera	51+720 A 76+310	4,05	2031	3,08	11
1,2	Caldera - San José	0+000 A 03+605	4,26	2035	3,36	15
2,2	Caldera - San José	03+605 A 14+025	4,26	2035	3,43	15
3,2	Caldera - San José	14+025 A 51+720	4,01	2035	3,12	15
4,4	Caldera - San José	51+720 A 76+310	4,11	2035	3,57	15

Con base en estos resultados, los tramos homogéneos muestran que según las condiciones actuales requerirán de una intervención de rehabilitación mayor muy cercano a la finalización del periodo de la concesión.



## 7 CONDICIONES GEOTÉNICAS Y SISTEMAS DE DRENAJE

La metodología utilizada para el desarrollo de este capítulo del informe de evaluación es explicada en detalle en la sección 1 *Introducción y antecedentes* de este informe.

En el análisis de los puntos observados en esta ruta se incorpora una valoración técnica, por medio de observación y análisis del entorno de lo que se ha denominado "riesgo potencial de pérdida de conectividad" y se han definido tres niveles de riesgo potencia:

1. **Riesgo potencial bajo**, cuando las condiciones del sitio observadas revelan una probabilidad de generar, bajo ciertas condiciones del entorno, una pérdida parcial de la conectividad del corredor, pero con posibilidades de recuperar esta conectividad con intervenciones pequeñas o cuando la sección muestre algún nivel de redundancia en la conectividad (rutas alternas o condiciones topográficas favorables) o sea una ruta que forma parte de la red básica de acceso o de los conectores de Integración territorial definidos en el Plan Nacional de Transportes.

2. **Riesgo potencial medio** cuando las condiciones del sitio observadas revelan una probabilidad de generar, bajo ciertas condiciones del entorno, una pérdida significativa de la conectividad del corredor, con la posibilidad de recuperar esta conectividad con intervenciones importantes, pero con algún nivel de redundancia en la conectividad (rutas alternas o condiciones topográficas favorables) o sea una ruta que forma parte de la Red de Distribuidores Regionales definida en el Plan Nacional de Transportes.

3. **Riesgo potencial alto** cuando las condiciones del sitio observadas revelan una probabilidad de generar, bajo ciertas condiciones del entorno, una pérdida total de la conectividad del corredor, con la posibilidad de recuperar esta conectividad con intervenciones mayores y con poca o nula redundancia en la conectividad (inexistencia de rutas alternas o condiciones topográficas favorables) o sea una ruta que forma parte de la Red de Alta Capacidad definida en el Plan Nacional de Transportes

NOTA: Una adaptación de este criterio ha sido utilizado para valoración en el informe LM-IC-D-0955-2020 del 28 de octubre de 2020 y validado por la CGR en el informe de auditoría, Nro. DFOE-IFR-IF-00014-2020 del 14 de diciembre de 2020.

El comportamiento general de la conformación de taludes ya sea de corte o relleno, así como el desempeño de las obras geotécnicas a cargo del Concesionario de esta Ruta Nacional ha sido objeto de evaluación y análisis por parte del LanammeUCR desde la inauguración de la ruta en el año 2010 hasta la fecha. Las obras geotécnicas evaluadas han incluido: las intervenciones en las laderas, los sistemas de drenaje y las obras de estabilización y protección de taludes.

Producto del seguimiento realizado por el LanammeUCR, la condición que se ha presentado en los distintos aspectos valorados a lo largo del tiempo ha sido comunicada al Consejo Nacional de Concesiones mediante diferentes oficios, informes específicos e





informes anuales de evaluación. En la Tabla 11 se presenta un listado de los informes que han sido remitidos por parte del LanammeUCR, en relación con el seguimiento dado a las condiciones geológicas y geotécnicas de la Ruta Nacional No.27.

Tabla 11. Informes de evaluación geológica y geotécnica de la Ruta Nacional No.27 remitidos por el LanammeUCR.

Número de Informe	Título
INF-PITRA-002-2010	INFORME DE EVALUACIÓN DEL PROYECTO SAN JOSÉ-CALDERA RUTA NACIONAL 27 AÑO 2010
INF-PITRA-005-2010	ANÁLISIS DE LOS ESTUDIOS GEOLÓGICO – GEOTÉCNICOS Y DEL DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y MANTENIMIENTO DE LA SECCIÓN COMPRENDIDA ENTRE LOS ESTACIONAMIENTOS 46+780 A 46+860. PROYECTO SAN JOSÉ – CALDERA, RUTA NACIONAL 27, TRAMO II
LM-PI-PV-ERV-27-2010	EVALUACIÓN DE LAS CONDICIONES DE LADERA EST. 39+000 A EST. 53+000, TRAMO II CARRETERA SAN JOSÉ-CALDERA RUTA NACIONAL 27
LM-PE-UE-002-2011	EVALUACIÓN DE LOS TRAMOS UBICADOS ENTRE LAS EST. 36+340 A 36+460, 38+700 A 38+800 Y 44+300, A 44+530 TRAMO II, RUTA NACIONAL 27 SAN JOSÉ - CALDERA
LM-PI-UE-007-2011	EVALUACIÓN DE LAS CONDICIONES HIDROTERMALES ENTRE LOS KILÓMETROS 38 Y 48 DE LA RUTA NACIONAL 27
LM-PI-UE-008-2011	UBICACIÓN Y EVALUACIÓN DE SITIOS SUSCEPTIBLES A DESLIZAMIENTOS DE LA RUTA NACIONAL 27 SAN JOSÉ - CALDERA, TRAMO II
INF-PITRA-010-2011	INFORME DE EVALUACIÓN DEL PROYECTO SAN JOSÉ – CALDERA RUTA NACIONAL 27, AÑO 2011
LM-PI-UE-005-2012	INFORME DE FISCALIZACIÓN RUTA NACIONAL 27
INF-PITRA-001-2013	INFORME DE EVALUACIÓN DEL PROYECTO SAN JOSÉ – CALDERA RUTA NACIONAL 27, AÑO 2012
LM-PI-UGERVN-05-2013	INFORME CORTO DE FISCALIZACIÓN CARRETERA RUTA NACIONAL 27. TALUD EN ESTACIONAMIENTO 38+500
LM-PI-UGERVN-07-2013	INFORME DE FISCALIZACIÓN, REVISIÓN INTEGRAL DE TALUDES RUTA NACIONAL NO.27, SAN JOSÉ– CALDERA
INF-PI-UGERVN-05-2014	INFORME DE EVALUACIÓN DEL PROYECTO SAN JOSÉ-CALDERA RUTA NACIONAL 27, AÑO 2013 - 2014
INF-PI-UGERVN-14-2014	INFORME DE EVALUACIÓN DEL PROYECTO SAN JOSÉ – CALDERA RUTA NACIONAL 27 AÑO 2014 - 2015



LM-PI-UGERVN-03-2015	ESTUDIO DE PRESENCIA DE DRENAJE ÁCIDO DE ROCAS (DAR) EN TALUDES DE LA RUTA NACIONAL 27
LM-PI-UGERVN-08-2015	INFORME DE EVALUACIÓN Y FISCALIZACIÓN, RUTA NACIONAL NO.27 TALUDES KM 38+600
INF-PI-UGERVN-05-2016	INFORME DE EVALUACIÓN DEL PROYECTO SAN JOSÉ – CALDERA RUTA NACIONAL 27, AÑO 2015 - 2016
INF-PI-UGERVN-04-2017	INFORME DE EVALUACIÓN DEL PROYECTO SAN JOSÉ – CALDERA RUTA NACIONAL 27, AÑO 2016 - 2017
INF-PI-UGERVN-12-2018	INFORME DE EVALUACIÓN DEL PROYECTO SAN JOSÉ – CALDERA RUTA NACIONAL 27 AÑOS 2017 – 2018
INF-PI-UGERVN-01-2019	INFORME DE EVALUACIÓN DEL PROYECTO SAN JOSÉ – CALDERA RUTA NACIONAL 27, AÑOS 2018 - 2019
INF-PI-UGERVN-12-2020	INFORME DE EVALUACIÓN DEL PROYECTO SAN JOSÉ – CALDERA RUTA NACIONAL 27, AÑOS 2019-2020

Tomando en consideración los resultados de estos informes y la evolución que los elementos geológico-geotécnicos han ido presentando a lo largo del tiempo, la Unidad de Evaluación de la Red Vial Nacional del PITRA programa y desarrolla evaluaciones visuales de la condición de algunos taludes de la Ruta Nacional No.27.

### 7.1 Evaluación talud en PK 37+500

En este punto se localiza un talud de corte al costado derecho de la carretera, en el sentido San José – Caldera. Tal y como ha sido descrito en otros informes de este Laboratorio “Este talud está constituido por lavas y brechas. Hay gran heterogeneidad en los materiales, ya que se observan zonas con mayor alteración y condiciones de meteorización intensas, mientras que, en otros sectores, los mismos materiales se presentan con poca alteración. En los sectores con materiales que son fáciles de disgregar se deben considerar medidas de protección contra procesos de erosión y pérdida de soporte de bloques de tamaño considerable.” (INF-PI-UGERVN-12-2020. LanammeUCR, 2020).

Dichas condiciones geológicas generan una vulnerabilidad en el talud ante el efecto de los agentes erosivos (agua y viento). Esta vulnerabilidad debe ser atendida mediante el diseño de soluciones geotécnicas adecuadas para las condiciones particulares del macizo rocoso.



Recientemente, durante el año 2021, el Concesionario reactivó los trabajos de intervención en este talud. Tal y como se aprecia en la Figura 59, los trabajos han consistido principalmente en la remoción de material rocoso y suelo, con el fin de modificar la geometría del talud.

Es de esperar, que la intervención que se está realizando en este talud siga las mejores prácticas de la ingeniería y cumpla con los requerimientos mínimos, lineamientos y factores de seguridad establecidos en el Código de Laderas y Taludes de Costa Rica, y demás normativa utilizada para este tipo de obras geotécnicas.



Figura 61. Talud en el km 37+500 de la Ruta Nacional No.27. A la izquierda se observa las condiciones del talud en junio 2020, mientras que la foto de la derecha corresponde con el mes de mayo del 2021 donde se observa la superficie de roca y suelo, recientemente expuesta por la intervención realizada por el Concesionario.

El gran número de fracturas y meteorización que presenta el macizo en algunos sectores debe ser objeto de atención por parte del Concesionario. Los tramos del talud como el sector central que se aprecia en la fotografía de la Figura 60, son especialmente susceptibles a la erosión y por consecuencia a presentar material caído.

Tomando en cuenta la altura importante del talud y la cercanía con la calzada de la Ruta Nacional, se considera que hay un riesgo potencial para los usuarios derivado de la caída de rocas en este sector de la carretera



Figura 62. Detalle de un sector del talud del estacionamiento 37+500. En el tramo central se presenta meteorización y fracturación intensa junto con la exposición de bloques de roca con potencial de caer en la carretera

El 5 de agosto del 2021, mediante el uso de Vehículos Aéreos No Tripulados (VANT), se realiza un registro fotográfico de la condición que presenta el talud de corte en este sector.

En la fotografía de la Figura 61 se aprecia una vista aérea de talud obtenida con el VANT. Se observan los tramos de corte y las bermas horizontales, así como cunetas de concreto en varios sectores para el manejo del agua de escorrentía.

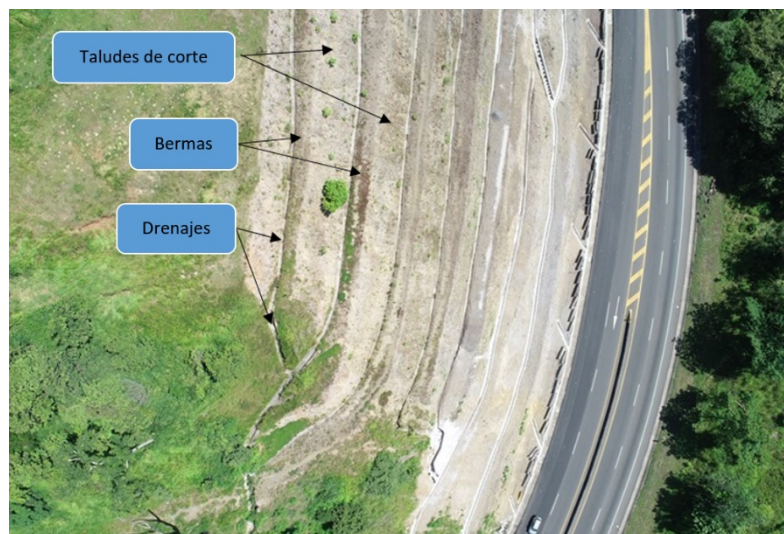


Figura 63. Vista aérea del talud de corte del km 37+500, al día 5 de agosto del 2021, durante los trabajos de intervención por parte del Concesionario.



En varios sectores del talud se observa acumulación de sedimentos en las cunetas, ver la Figura 62. Sin embargo, la pérdida de materiales finos representa un problema que debe ser atendido en el corto plazo. En este sitio tiene lugar un proceso que inicia con la meteorización física de las rocas y que debido a la erosión progresa de forma tal que son removidas las granulometrías finas y posteriormente las medias, lo que provoca que bloques de tamaños mayores (decimétricos y métricos) queden sin soporte, esto eventualmente produciría la caída de materiales en la carretera, lo que afectaría directamente la seguridad de los usuarios.



Figura 64. A la izquierda vista aérea de las cunetas con sedimentación a la derecha se muestra el detalle de la acumulación de los sedimentos en las cunetas del talud recientemente cortado en el km 37+500.

Cabe destacar que la acumulación de sedimento en los sistemas de drenaje reduce su capacidad hidráulica, la cuneta no puede transportar la misma cantidad de agua y se produce rebalse del agua y una descarga descontrolada que aumenta el problema de erosión en la superficie del talud.

Se recomienda considerar realizar los estudios básicos y la modelación para analizar la estabilidad del talud, y generar el diseño de las soluciones que sean requeridas.

Según las condiciones observadas en el sitio y de acuerdo con los niveles de riesgo potencial anteriormente descritos, se considera que este tramo de carretera presenta un riesgo potencial Medio.

## 7.2 Evaluación talud en PK 38+600

En este sitio se localiza un talud de corte en el costado derecho de la carretera, en el sentido San José – Caldera. En este tramo de la carretera se presenta Drenaje Ácido de Rocas (DAR), el cual ha afectado desde el inicio las intervenciones que el Concesionario



ha realizado en el talud (Ruiz et al. 2015, Suarez 2017 y Aguilar 2017). Durante años, el ácido que se forma en el suelo y la roca de este macizo ha deteriorado de forma acelerada, si se comparan los resultados de las evaluaciones correspondientes a los años 2015 a 2017, los materiales que el Concesionario ha colocado; tanto el concreto como el acero y los geosintéticos que han sido instalados han presentado deterioro prematuro en el medio ácido de este sector (Informe LM-PI-UGERVN-03-2015, LANAMME, 2015).

Debido a la presencia de DAR, la pendiente del talud, la saturación del material del sitio (siempre húmedo), combinado con el uso de materiales no aptos para las condiciones que presenta este tramo de la carretera, cada cierto tiempo se producen deslizamientos de diferente magnitud. El pasado 4 de noviembre del 2020 tuvo lugar un deslizamiento importante en este talud, con caída de suelo, rocas y concreto en la carretera, lo que obstruyó el paso por la vía por varios días. En la Figura 63 se observa lo indicado anteriormente.



Figura 65. Deslizamiento del 4 de noviembre del 2020 con caída de material en la carretera, km 38+600. (Fuente: La República, 5/11/2020).

Posteriormente, en una gira de evaluación realizada el 27 de mayo de este año 2021, se pudo observar el trabajo de corte en el talud que empezó a realizar el Concesionario.

Hasta el mes de agosto de este año 2021, los trabajos en este talud han consistido en la remoción de suelo y rocas para reconformar el talud construyendo bermas horizontales.

En una visita posterior, el 5 de agosto del 2021, mediante el uso de VANT, se realiza un registro fotográfico de la condición que presenta el talud de corte en este sector. En la





Figura 64 se puede observar una vista aérea de la condición que presentaba el talud el día de la evaluación.



Figura 66, Vista aérea del talud de corte en el estacionamiento 38+600. Se observa el avance que presenta el corte realizado por el Concesionario.

Es muy importante tener presente que este sitio presenta condiciones geológicas que propician la generación de Drenaje Ácido de Rocas. Por lo tanto, los nuevos cortes que se están realizando expone el suelo y las rocas al efecto del agua y del oxígeno de la atmósfera, lo que abastece las reacciones químicas que generan el ácido sulfúrico que ha atacado y deteriorado aceleradamente al concreto, al acero y otros materiales que el Concesionario ha colocado en este lugar.

Las rocas que afloran en este talud corresponden con brechas volcánicas que han sufrido alteración hidrotermal y presentan una alta mineralización de pirita. Este mineral al ser expuesto a la humedad y el oxígeno de la atmosfera se oxida, y se transforma en ácido sulfúrico. Durante este proceso químico también se generan sales (yeso anhidrita) que pueden llegar a saturar las obras de drenaje subhorizontal tal y como se evidenció en este talud y en el estacionamiento del km 47+000 en evaluaciones anteriores (LM-PI-UGERVN-08-2015). Este ácido es altamente corrosivo y puede disminuir el pH del agua a niveles inferiores a 2. El ácido sulfúrico puede consumir fácilmente el componente calcáreo del concreto lanzado (sin aditivos) reduciendo sus características y vida útil. Es de esperar que en el corto plazo se evidencie nuevamente la presencia de ácido en la superficie y en el agua ácida que transcurre por estos taludes.

Adicionalmente, posterior al trabajo de corte realizado, mediante el análisis de fotografías aéreas es posible identificar un deslizamiento que está teniendo lugar en este talud. En la Figura 65 se observa un tramo del talud de corte, en el cual se evidencia, al menos, un deslizamiento reciente.



Figura 67, Detalle de un sector del talud de corte en el km 38+600. Dentro de la línea roja se observa un deslizamiento reciente. Se destaca también la cercanía con la línea del ferrocarril.

Tal como se observa en la figura anterior, el tamaño y la localización de ese nuevo deslizamiento en relación con la línea del ferrocarril ubicada en la parte superior, debe ser objeto de análisis, debido a la posibilidad de que este deslizamiento continúe avanzando y afecte la estabilidad del terreno que da soporte a la vía férrea.

Se recomienda realizar estudios geológicos y geotécnicos apropiados que permitan valorar la necesidad de realizar obras adicionales de estabilización y protección superficial por esta situación en particular, esto con el fin de evitar una posible afectación en el derecho de vía del ferrocarril, así como una afectación directa en la Ruta Nacional No.27 por la caída de material en la carretera.

Este laboratorio espera que, para las obras de estabilización que se están realizando en este talud, se consideren los problemas que implica el drenaje ácido en el concreto lanzado, el acero y los sistemas de drenaje subhorizontales. Así mismo, que los trabajos que se están realizando sigan las mejores prácticas de la ingeniería y cumpla con los requerimientos mínimos, lineamientos y factores de seguridad establecidos en el Código de Laderas y Taludes de Costa Rica y demás normativa para este tipo de obras geotécnicas.

Según las condiciones observadas en el sitio y de acuerdo con los niveles de riesgo potencial anteriormente descritos, se considera que este tramo de carretera presenta un riesgo potencial Alto.

Para todo este talud de corte se recomienda realizar un estudio geológico-geotécnico para determinar la generación de Drenaje Ácido de Rocas en este sector al que se le están haciendo nuevos cortes, con el fin de diseñar y construir soluciones geotécnicas que estén adaptadas a estos medios ácidos, contemplando los materiales adecuados para tales



circunstancias, y que por lo tanto permitan estabilizar y proteger el talud a lo largo de la vida útil de la vía, todo esto en beneficio de la seguridad de los usuarios de esta Ruta Nacional en Concesión.

### 7.3 Evaluación talud en PK 40+800

En este sitio se localiza un corte en el terreno con taludes a ambos lados de la carretera. El talud que ha requerido mayores intervenciones es el que se localiza en el costado derecho de la vía, en el sentido San José – Caldera, debido principalmente a los materiales que lo conforman, a su altura y la cercanía con la carretera.

Desde noviembre del 2014, en este sitio se han venido registrando deslizamientos de diferente magnitud (Informe LM-PI-UGERVN-14-2014, LANAMME, 2014). Las intervenciones realizadas desde entonces por el Concesionario han incluido la colocación de anclajes pasivos, concreto lanzado y mantos geosintéticos reforzadas con mallas de acero. Sin embargo, ninguna de dichas intervenciones ha resultado efectiva para detener el avance del deslizamiento y el deterioro superficial de este talud.

Más recientemente, el 10 de noviembre del 2020, tuvo lugar un deslizamiento de importante magnitud que afectó directamente a los usuarios que transitaban en ese momento por este sitio. En la Figura 66 se presenta una fotografía en la que se evidencia el depósito del deslizamiento y la condición en la que quedaron varios vehículos luego de la caída de gran cantidad de suelo y rocas en la carretera.



Figura 68. Deslizamiento del 10 de noviembre del 2020, con afectación directa a los usuarios de la Ruta en Concesión. Se destaca dentro del rectángulo y a la derecha los vehículos afectados por el deslizamiento (La Nación, 10/11/2020).

Los trabajos realizados por el Concesionario se han limitado al retiro del material caído, sin que se observe ningún tipo de obra para estabilizar el talud, tal como se aprecia en la Figura 67 a continuación.





Figura 69. Fotografía del estacionamiento 40+800 de la Ruta Nacional No.27 donde se presentó el deslizamiento, dentro de la línea roja se destaca el material que está sin soporte y con potencial de caer.

En la zona superior de este talud aún continúa una parte del material sin soporte en su base, el cual eventualmente podría fallar (ver Figura 67).

Según las condiciones observadas en el sitio y de acuerdo con los niveles de riesgo potencial anteriormente descritos, se considera que este tramo de carretera presenta un riesgo potencial Alto.

Por la condición actual del talud, se considera pertinente realizar con inmediatez los estudios de suelo correspondiente e implementar las obras de intervención requeridas para garantizar su estabilidad en el corto y en el largo plazo. Se recomienda priorizar su intervención.

#### 7.4 Evaluación talud en PK 44+500

Durante este año de evaluación se ha intensificado el seguimiento geotécnico de la condición del deslizamiento que tiene lugar en el km 44+500 de la ruta en concesión. Esto obedece principalmente al comportamiento que ha presentado el deslizamiento durante las estaciones lluviosas de los años 2019 y 2020, en los que se han observado movimientos significativos en el terreno y deterioros en las obras recientemente construidas por el Concesionario.

En este sitio tiene lugar un deslizamiento que ha afectado durante años al terraplén de la carretera y las laderas aledañas a la misma (INF-PI-UGERVN-01-2019). Se trata de un deslizamiento cuyos efectos en la carretera han sido constantes y han sido registrados e informados por el LanammeUCR desde el año 2011 en los informes anuales de evaluación. Entre los efectos observados se encuentran deformaciones de la carpeta

asfáltica y del guardavía, así como grietas y hundimientos en el pavimento de variada magnitud a lo largo de aproximadamente 400 metros de carretera.

Durante las estaciones lluviosas de los años 2017 y 2018, los hundimientos obligaron al Concesionario a intervenir nuevamente este sector. El Concesionario construyó en este lugar un muro anclado y una pantalla de pilotes al pie del terraplén, como parte de las medidas de contingencia para la vía.

El movimiento del terreno que da soporte a la carretera ha continuado a pesar de estas intervenciones. Las grietas en el pavimento y los hundimientos se continúan presentando de forma recurrente hasta la fecha de emisión de este informe. Frecuentemente el Concesionario debe colocar nuevas capas de asfalto para permitir que este tramo sea transitable.

El 5 de agosto del 2021 mediante el uso de VANT, se realiza un registro fotográfico de la condición que presenta el deslizamiento en este sector. En la Figura 68 se puede observar una vista aérea de la condición que presentaba el talud el día de la evaluación.

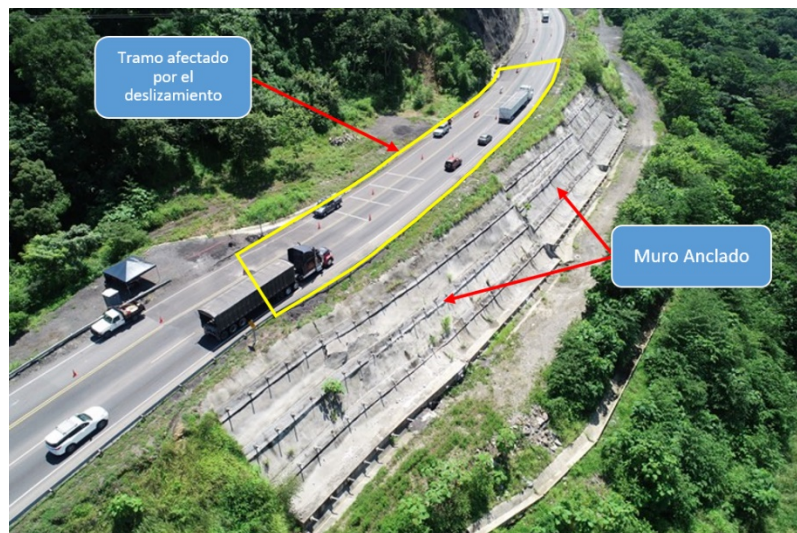


Figura 70. Deslizamiento y algunas de las obras construidas en el km 44+500. Se destaca dentro de la línea amarilla el tramo aproximado de carretera que de forma recurrente presenta hundimientos.

El muro anclado y la viga de amarre de la pantalla de pilotes (al pie del muro anclado) presentan varios sectores con grietas y desplazamientos importantes. Esta condición se observa en la Figura 69.

Considerando que el objetivo de las obras de estabilización construidas por el concesionario (muro anclado y pilotes), era estabilizar el terreno que da soporte a la carretera y mantenerla transitable, y por las observaciones realizadas durante las evaluaciones de este año, es evidente que este objetivo de estabilización no se ha



cumplido, sin que se haya resuelto el problema del hundimiento en la calzada y así se evidenció en los informes INF-PI-UGERVN-01-2019 y INF-PI-UGERVN-12-2020 en el que se muestran los resultados del monitoreo geotécnico . En la figura 69, se observa la condición del muro anclado, y en la figura 70 la condición de la viga de amarre de la pantalla de pilotes.

Figura 71. Detalle de los agrietamientos que se continúan presentando en la fachada del muro anclado, evidencia de los desplazamientos en el terreno que da soporte a la Ruta Nacional

En la viga de amarre de la pantalla de pilotes que se localiza al pie del muro anclado, también se evidencia la magnitud del deterioro y los desplazamientos que se están presentando en el terraplén que da soporte a la carretera. Esto se puede observar en la siguiente Figura 70.



Figura 72. Falla en la viga de amarre al pie del muro anclado.





Tomando en cuenta la extensión y magnitud de los deterioros que presentan las obras geotécnicas y la estructura del pavimento en este sector de la carretera, así como la evolución que estos problemas han tenido, se considera que existe un riesgo potencial Alto de que ocurra un colapso de tal magnitud que el tránsito vehicular se vea interrumpido, afectando significativamente el servicio que la ruta debe brindar a los usuarios.

Durante las estaciones lluviosas de años anteriores los desplazamientos y hundimientos en la carretera se han incrementado, por lo que un nuevo movimiento se podría presentar ante condiciones de saturación del terreno o como consecuencia de movimientos sísmicos. Por lo tanto, se recomienda realizar un estudio de la zona más detallado para determinar la actividad del deslizamiento e implementar planes de monitoreo que permitan detectar con rapidez estos movimientos y tomar las medidas necesarias de forma inmediata, con el fin de salvaguardar la condición adecuada de la carretera para su tránsito.

#### 7.5 Evaluación talud en PK 75+900

En este sitio se localiza un talud de corte al costado derecho de la carretera, sentido San José – Caldera. El talud está compuesto por estratos de areniscas y limos en la parte inferior y un nivel de rocas meteorizadas y sanas en la parte superior. El grado de meteorización que presenta este estrato del macizo rocoso lo hace susceptible a la erosión eólica e hidráulica. Esta condición provoca la caída no solo de sedimentos finos al pie del talud, sino que algunos bloques de roca sufren socavación del material que los soporta, por lo que se genera también la caída de estos bloques de tamaños decimétricos y métricos.

Al pie del talud el Concesionario construyó un muro de retención con el sistema de gaviones. Este muro está retirado de la base del talud de corte, y supone que actúa como un sistema de retención de bloques.

El pasado 7 de marzo de este año 2021, en este sitio se produjo la caída de un bloque importante de roca, de tamaño métrico, el cual impactó el muro de gaviones y lo sobrepasó, cayendo posteriormente en la carretera. Parte del daño provocado por la roca en el muro se aprecia en la siguiente Figura 71.



Figura 73 Talud en el km 75+900 luego de la caída de la roca, se aprecia parte del daño que ocasionó en el muro de gaviones y las labores de remoción del material caído. A la derecha se muestra el proceso de meteorización esferoidal que se da en el nivel donde se encuentran las rocas.

El evento que tuvo lugar el 7 de marzo demostró que el muro de gaviones construido por el Concesionario no es eficiente en la detención de los bloques de gran tamaño que se desprenden de la parte alta del talud. El bloque de roca sobrepasó el muro y cayó sobre la carretera, con potencial de impactar a los usuarios que transitan sobre este sector.

En la parte alta del talud (Figura 72) se pueden observar una zona que presenta bloques de roca cuyo potencial de caída debe ser evaluado.



Figura 74. Parte alta del talud en el km 75+900. Se destaca dentro de la línea roja la zona que aparenta potencial de provocar desprendimientos de bloques similares al que sobrepasó el muro de gaviones y cayó en la carretera.

A la fecha de emisión de este informe, los trabajos en este sitio se han limitado a la remoción del material caído y la reconstrucción del muro de gaviones, intervención que ha demostrado ser insuficiente para controlar de forma efectiva la caída de material en la carretera. A criterio de este Laboratorio esto constituye una reconstrucción de la vulnerabilidad, lo que afecta directamente la seguridad de los usuarios.

Tomando en cuenta las condiciones observadas en el sitio y de acuerdo con los niveles de riesgo potencial anteriormente descritos, se considera que este tramo de carretera presenta un riesgo potencial Medio de pérdida de conectividad.

Se recomienda realizar los estudios geológicos y geotécnicos necesarios para determinar el potencial de caída de bloques de roca en este tramo de la Ruta Nacional, así como diseñar y construir las medidas de estabilización y protección requeridas para evitar que se presente nuevamente una situación de peligro como la ocurrida en marzo de este año 2021.



## 8 EVALUACIÓN DE SEGURIDAD VIAL Y MOVILIDAD

### 8.1 Generalidades

La presente evaluación de seguridad vial y movilidad de la Ruta Nacional 27 y sus Radiales contempla por primera vez la valoración de distintos elementos en la infraestructura vial que afectan la seguridad vial, esto a partir de un sistema de inventario móvil. Esta condición permitirá comparar las variaciones a nivel de los elementos evaluados a través del tiempo.

Sumado a los registros generados mediante el sistema de inventario móvil, se documentarán de forma periódica los registros de choques viales, donde a la fecha se presentan los registros del año 2016 al 2020, suministrados por el Consejo Nacional de Concesiones. También, se identificaron los tramos de concentración de choques viales sobre la Ruta Nacional 27, esto a partir de los registros de choques del periodo 2016 – 2019 y se evaluaron los segmentos de vía con mayor ocurrencia de atropellos.

#### 8.1.1 *Tramos homogéneos*

Los tramos homogéneos corresponden al fraccionamiento de la vía para analizarla en segmentos con características funcionales, geométricas y de uso de suelo similares. Estos tramos fueron utilizados como unidades de análisis para identificar los tramos de concentración de choques y para visualizar el estado de algunos elementos viales. Se utilizó como base los tramos homogéneos realizados por Moya, Agüero, Zamora y Jiménez (2019).

#### 8.1.2 *Evaluación del señalamiento vial y sistemas de contención vehicular*

A partir del equipo de inventario móvil Imajing, se realizó la evaluación de la demarcación horizontal en función de los tramos homogéneos, el inventario de la señalamiento vertical y registro de los sistemas de contención vehicular con deficiencias o colisiones.

##### 8.1.2.1 *Evaluación de la demarcación horizontal*

Para evaluar el estado de la demarcación horizontal, se seleccionó la sección de cada uno de los tramos homogéneos con el mayor grado de deterioro y se evaluó según los siguientes criterios:

1. En la sección crítica se realizó la evaluación unitaria de cada línea de demarcación horizontal en función de los criterios visuales de la Figura 73.
2. Clasificación global de la sección en función de las notas unitarias de cada línea o figura:
  - a. Bueno: sección con todos los elementos de la demarcación en estado bueno.
  - b. Regular: sección con al menos 1 elemento de la demarcación regular o mala.



c. Malo: sección con el 50% de los elementos en estado malo.



Figura 75. Clasificación visual en función del estado de la demarcación horizontal

Nota: Tomado de Guía de evaluación de seguridad vial para puentes en Costa Rica. LanammeUCR, 2011.

#### 8.1.2.2 Evaluación del señalamiento vertical

El señalamiento vertical fue inventariado en su totalidad, en función de las secciones visibles a través del Imajing, esto para la Ruta Nacional 27 y sus radiales. Adicional al inventario de cada señal, se evaluaron según los siguientes criterios:

1. Cada señal vertical se evaluó en función de los criterios visuales de la Figura 74.
2. Cada señal vertical se categorizó según los siguientes tipos:
  - a. Señal de reglamentación
  - b. Señal de prevención
  - c. Señal de información
  - d. Señal informal
  - e. Señal indefinida
3. En el caso de grupos de señales tipo Chevron o delineadores, se caracterizó únicamente una en función del estado general del grupo de señales.





Figura 76. Clasificación visual en función del estado del señalamiento vertical  
Nota: Tomado de Guía de evaluación de seguridad vial para puentes en Costa Rica. LanammeUCR, 2011.

### 8.1.2.3 Evaluación de los sistemas de contención vehicular

Se evaluaron todos los sistemas de contención vehicular (SCV) con colisiones o deficiencias que limiten su correcto funcionamiento, esto para la Ruta Nacional 27 y sus radiales. La evaluación se realizó según los parámetros de la Tabla 12 y Tabla 13.

Tabla 12. Parámetros y criterios para evaluación de SCV

Parámetro	Criterio	Definición
Condición	Colisionado	Elemento que presenta deterioro causado por un choque vial.
	Deficiente	Mala práctica de diseño o constructiva que por su condición aumenta la severidad de un choque.
Estado	Regular	Elementos colisionados que no aumentan sustancialmente el riesgo o condiciones deficientes que presenten posibilidades de mejora.
	Crítico	Todos los elementos colisionados y deficientes que representen un riesgo potencial ante un posible choque.
Ubicación	Lateral	Elementos ubicados en los márgenes derechos o izquierdos, aledaños al carril externo.
	Mediana	Elementos ubicados aledaños al carril interno y que dividan los flujos de circulación.
	Otro	Otras ubicaciones, tales como zonas de peajes.



Tabla 13. Parámetros y criterios de evaluación para SCV (continuación)

Parámetro	Criterio	Definición
Sentido (RN27)	A-B	Sentido desde San José hacia Caldera.
	B-A	Sentido desde Caldera hacia San José.
	Ambos	Afectación en ambos sentidos.
Sentido (Radial)	A-B	Sentido desde la R.N. 27 hacia la Radial.
	B-A	Sentido desde la Radial hacia la R.N. 27.
	Ambos	Afectación en ambos sentidos.
Tipo de dispositivo o discontinuidad	Barrera	Dispositivo de contención vehicular ubicado longitudinalmente en el sector lateral o en la mediana.
	Puente	Dispositivo de contención vehicular ubicado longitudinalmente en el sector lateral o en la mediana, pero ubicado sobre un puente o paso a desnivel.
	Transición	Dispositivo de contención vehicular que conecta distintos tipos de sistemas de contención vehicular.
	Amortiguador	Dispositivo de contención vehicular ubicado en bifurcaciones, medianas o peajes que reduce la severidad de un choque al amortiguar el impacto y absorber la energía de la colisión.
	Terminal	Dispositivo de contención vehicular ubicado al principio o final de una barrera lateral.
Material	Discontinuidad	Elemento o ausencia de sección que limita la conexión entre dispositivo de contención vehicular consecutivos.
	Metal	Dispositivo cuya estructura se conforma principalmente por metal.
	Concreto	Dispositivo cuya estructura se conforma principalmente por concreto.
	NA	No aplica, corresponde para el caso de discontinuidades.

En el caso específico de los elementos de concreto que se ubican frente a las casetas de peajes, se realizó una única valoración por peaje y por sentido.



### 8.1.3 Identificación de puentes peatonales e infraestructura de transporte público

A partir del equipo de inventario móvil Imajing, se realizó la identificación y caracterización de los puentes peatonales e infraestructura de transporte público sobre la Ruta Nacional 27 y sus radiales.

#### 8.1.3.1 Identificación de puentes peatonales

Los puentes peatonales fueron ubicados geográficamente y categorizados en función del método de accesibilidad: escalera, rampa, escalera y rampa y otros.

#### 8.1.3.2 Identificación de infraestructura de transporte público

Los puentes peatonales fueron ubicados geográficamente y segmentados en paradas de autobús y bahías de autobús.

### 8.1.4 Choques viales

El Consejo Nacional de Concesiones suministró al LanammeUCR los datos de choques viales de la Ruta Nacional 27 para el periodo 2016 – 2020, estos datos se presentan a nivel general. A nivel específico, se analizó únicamente el periodo 2016 – 2019, ya que el efecto de la pandemia en los datos del año 2020 genera comportamientos que no son representativos del patrón típico de siniestralidad vial del proyecto.

#### 8.1.4.1 Identificación de tramos con presencia de atropellos

Para identificar los sitios con presencia de atropellos se cuantificó la presencia de atropellos a peatones y ciclistas en el periodo 2016 – 2019 por tramo homogéneo y se analizó la presencia del evento y proximidad entre los tramos homogéneos para seleccionar los segmentos de análisis.

Cada segmento de análisis fue visitado con el fin de identificar posibles condiciones que pudiesen propiciar estos eventos, así como para valorar posibilidades de mejora.

#### 8.1.4.2 Identificación de tramos de concentración de choques viales

A partir de los datos de choques viales del periodo 2016 – 2019, se realizó un análisis específico para determinar los tramos de concentración de choques viales, esto a partir del análisis a partir de choques totales y choques equivalentes.

- Choques totales: considera la suma de todos los choques, indiferentemente de su severidad.
- Choques equivalentes: considera un factor de equivalencia entre los choques con solo daños materiales y los choques con fallecidos, heridos graves y leves.



Los métodos aplicados en general se basaron en el Road Safety Manual (PIARC Technical Committee on Road Safety, 2003) y el Highway Safety Manual (AASHTO, 2010), donde detallan los métodos:

- Frecuencia de choques con choques totales
- Tasa de choques con choques totales
- Tasa crítica de choques con choques totales
- Equivalencia a solo daños materiales

De forma complementaria, y a partir de la investigación realizada por Rodríguez, et al (2019), se incorporaron los siguientes métodos:

- Frecuencia de choques con choques equivalentes
- Tasa de choques con choques equivalentes
- Tasa crítica de choques con choques equivalentes

El uso de 7 métodos con insumos y características distintas permite subsanar en alguna medida las limitaciones inherentes de cada método, asociadas a su simplicidad, sin embargo, como criterio de selección para los tramos de concentración de choques, se utilizó como indicador la frecuencia en la que un mismo tramo homogéneo resulta crítico entre los diversos métodos de forma simultánea, valor que se presenta en la Tabla 14 como “Riesgo de siniestralidad”.

Tabla 14. Clasificación de exposición al riesgo por choques viales

Riesgo de siniestralidad	Clasificación
0	Sin evidencia de riesgos a partir de choques viales
1	Riesgo medio de ocurrencia de choques viales
2	
3	Riesgo alto de ocurrencia de choques viales
4	
5	Riesgo muy alto de ocurrencia de choques viales
6	
7	

De forma específica, se evaluaron los tramos homogéneos donde la clasificación de la Tabla 14 corresponde a un “Riesgo alto de ocurrencia de choques viales”, asociada a un riesgo de siniestralidad tipo 5, 6 y 7. La evaluación se generó mediante el equipo Imajing y los registros de choques viales.



## 8.2 Evaluación del señalamiento vial

A partir del equipo de inventario móvil Imajing y los criterios de las Secciones 7.1.2.1 *Evaluación de la demarcación horizontal* y 7.1.2.2 *Evaluación del señalamiento vertical* se presentan los resultados de la evaluación del señalamiento vial segmentado para la Ruta Nacional 27 y las radiales.

### 8.2.1 Señales verticales: Ruta Nacional 27

Para el periodo de estudio se identificaron 1352 señales sobre la Ruta Nacional 27, esto para ambos sentidos de circulación, de las cuales su estado presentó un 84 % clasificado como *Bueno*, 10 % como *Regular* y cerca de un 6 % como *Malo*, condiciones que se observan en la Figura 75. Al segregarse el total de señales, según el tipo de señal, es posible identificar que la vía cuenta predominantemente con señales oficiales en buen estado, donde las señales reglamentarias, preventivas y de información en estado *Bueno* representan un 83,36 % del total, condición presente en la Figura 76. En la Tabla 15 se identifica que las señales oficiales en estado *Bueno* corresponden a 1127 dispositivos, 135 en estado *Regular* y en estado *Malo* 55 señales verticales.

En la Figura 77, Figura 78, Figura 79 y Figura 80 se evidencia mediante los mapas que la mayoría de las señales presentan un estado *Bueno*, condición visible mediante los elementos de color verde. Cabe destacar que esta evaluación se realizó de forma diurna y mediante auscultación visual, por lo que no sustituye un estudio que mida la capacidad de retrorreflectividad de los viniles de las señales verticales.

### Estado señalamiento vertical en la RN27

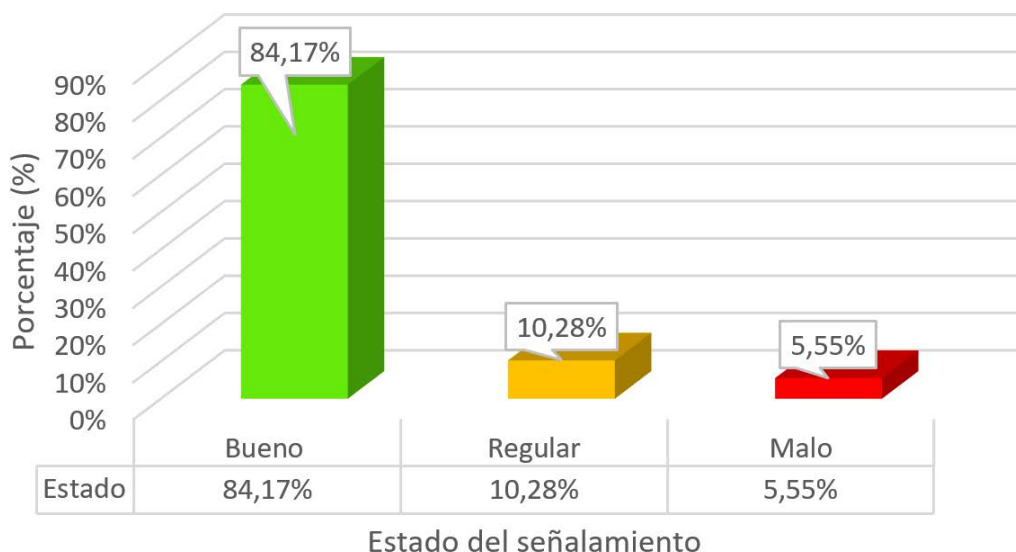


Figura 77. Estado de las señales verticales sobre la Ruta Nacional 27





Tabla 15. Registro de señales segmentadas por tipo y estado sobre la Ruta Nacional 27

Estado	Reglamentación	Prevención	Información	Informal	Indefinido
<b>Bueno</b>	455	229	443	10	1
<b>Regular</b>	49	39	47	1	3
<b>Malo</b>	16	12	27	0	20
<b>Subtotal</b>	520	280	517	11	24
<b>Total</b>	1352				

Estado del señalamiento vertical por tipo en la RN27

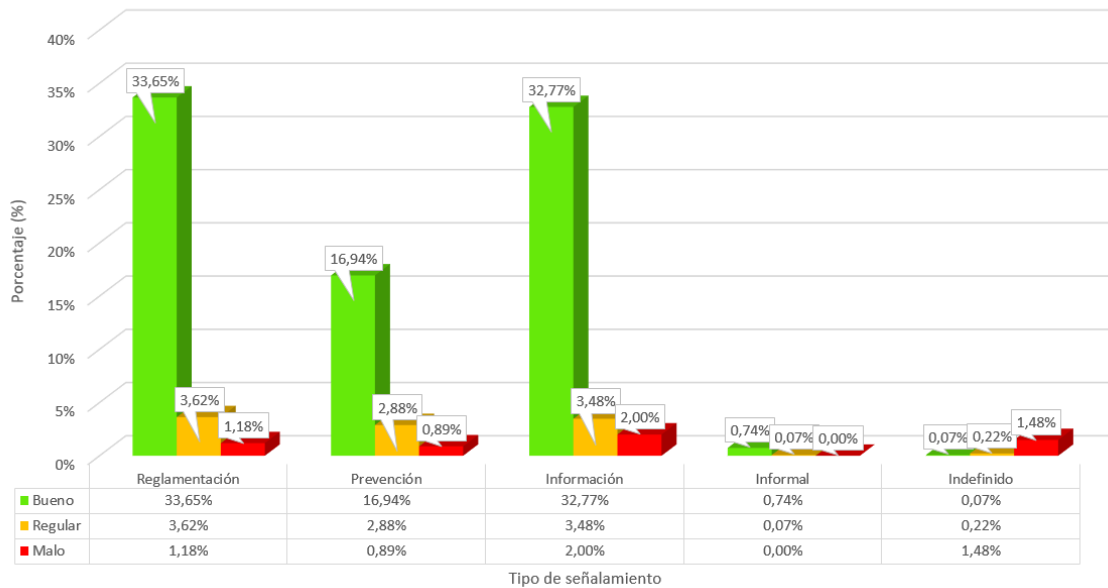


Figura 78. Estado de las señales verticales por tipo sobre la Ruta Nacional 27

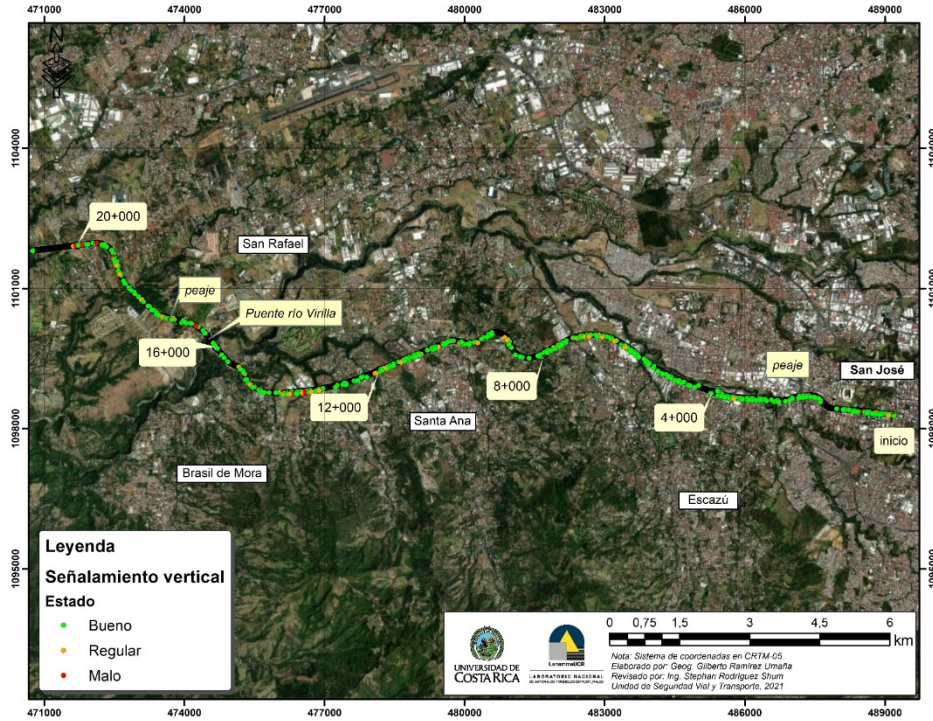


Figura 79. Inventario de señales verticales, RN27, sección 0+000 – 20+000

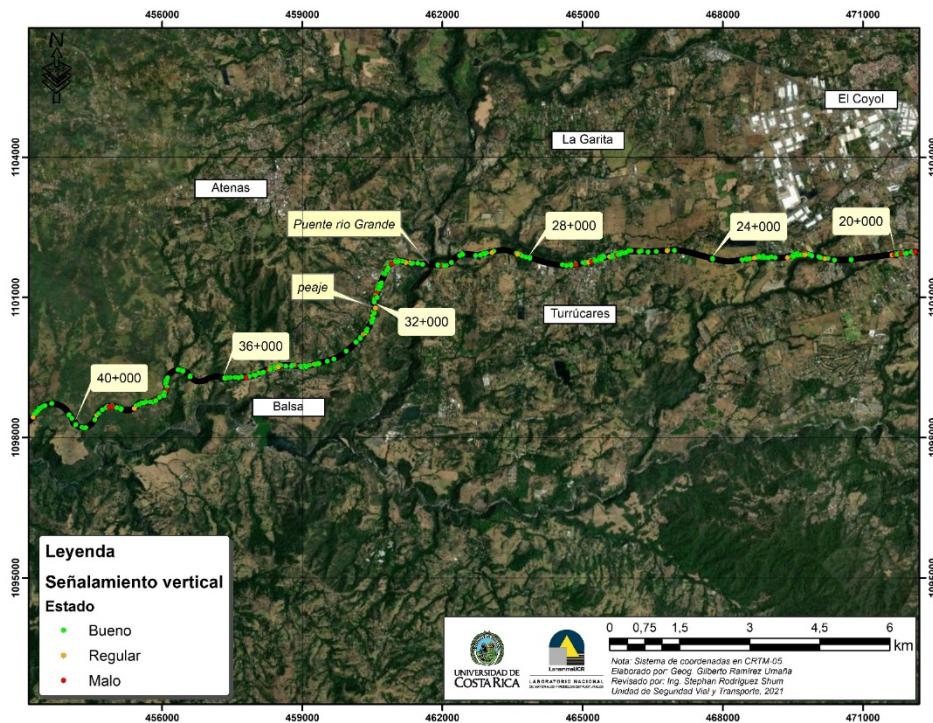


Figura 80. Inventario de señales verticales, RN27, sección 20+000 – 40+000



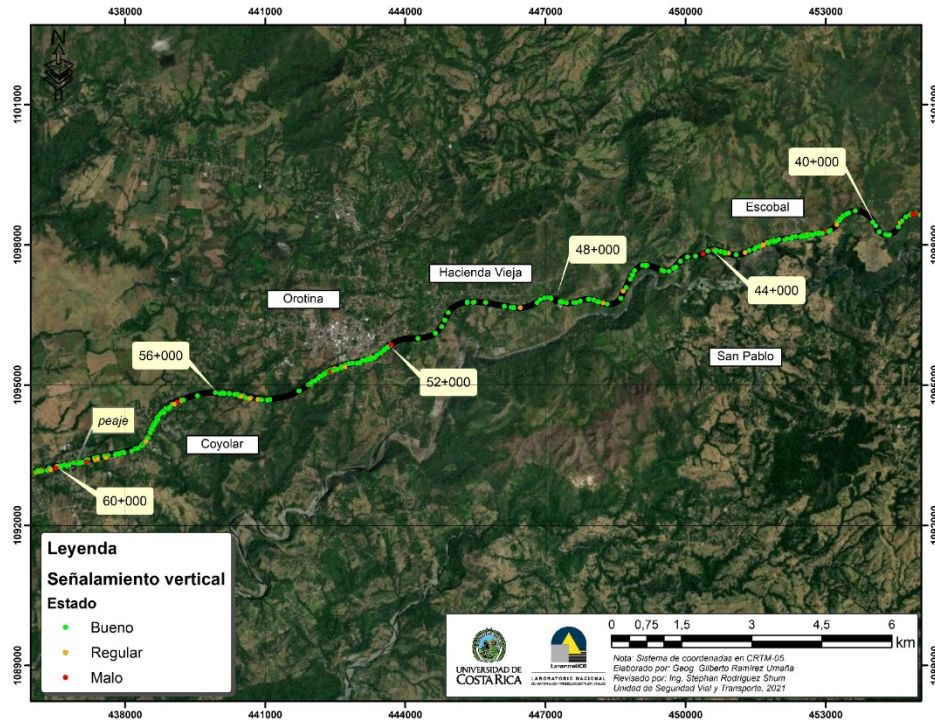


Figura 81. Inventario de señales verticales, RN27, sección 40+000 – 60+000



Figura 82. Inventario de señales verticales, RN27, sección 60+000 – 76+000



### 8.2.2 Señales verticales: Radiales

Para el periodo de estudio se identificaron 161 señales sobre la Radial El Coyol, Turrúcares, Atenas y Escobal, de las cuales su estado presentó un 81 % clasificado como *Bueno*, 10 % como *Regular* y cerca de un 9 % como *Malo*, condiciones que se observan en la Figura 81.

Al segregar el total de señales por radial y tipo, es posible identificar deficiencias puntuales:

- Radial El Coyol: se registraron 87 señales verticales y su estado se segrega por tipo en la Tabla 16 y la Figura 82, resalta que cerca de un 13 % presentan condición *Mala* y cerca de un 13 % una condición *Regular*, esto equivale a un 26 % en condición *Regular* y *Mala*, valor al que debe sumarse un 8 % de señales informales, para un total de 30 señales o un 34 % de las señales en condiciones que requieren atención por parte de la Concesionaria.
- Radial Turrúcares: se registraron 16 señales verticales y su estado se segrega por tipo en la Tabla 17 y la Figura 83, de estas, cerca de un 13 % con condición *Mala*, correspondiente a 2 señales.
- Radial Atenas: se registraron 51 señales verticales y su estado se segrega por tipo en la Tabla 18 y la Figura 84. Según su estado se identificaron un 4 % en condición *Mala* y cerca de 6 % en condición *Regular*, correspondiente a un 10 % de las señales. Sin embargo, al sumar el 14 % de señales informales, se alcanza un total de 13 señales o un 24 % de las señales en condición que requieren atención por parte de la Concesionaria.
- Radial Escobal: se registraron 7 señales verticales y su estado se segrega por tipo en la Tabla 19 y la Figura 85, todas presentan un estado *Bueno* y presentan una tipología oficial.

## Estado señalamiento vertical Radiales

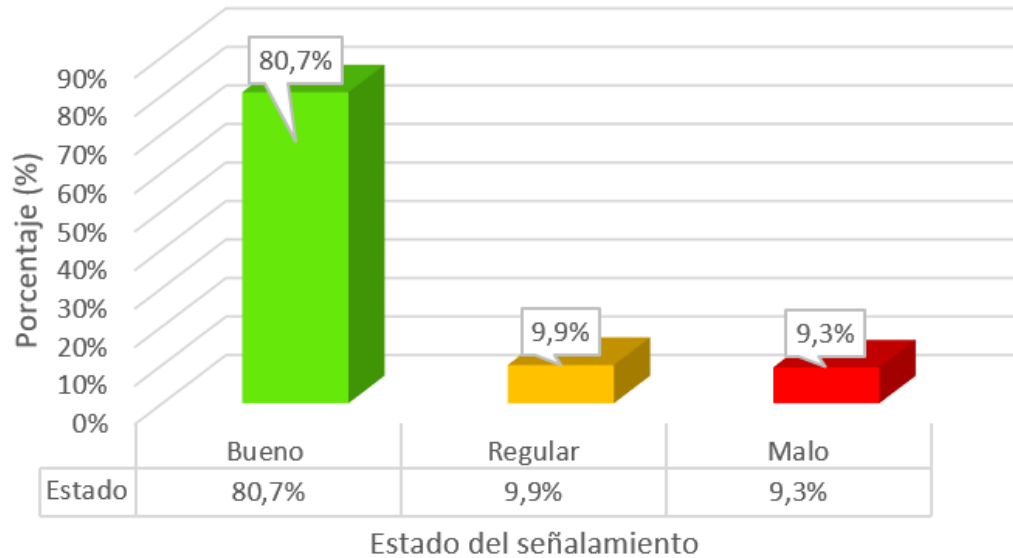


Figura 83. Estado de las señales verticales sobre las Radiales

Tabla 16. Registro de señales segmentadas por tipo y estado sobre la Radial El Coyol

Estado	Reglamentación	Prevención	Información	Informal	Indefinido
<b>Bueno</b>	32	18	7	7	0
<b>Regular</b>	7	3	1	0	1
<b>Malo</b>	7	2	2	0	0
<b>Subtotal</b>	32	18	7	7	0
<b>Total</b>	87				

Tabla 17. Registro de señales segmentadas por tipo y estado sobre la Radial Turrúcares

Estado	Reglamentación	Prevención	Información	Informal	Indefinido
<b>Bueno</b>	4	4	6	0	0
<b>Regular</b>	0	0	0	0	0
<b>Malo</b>	1	0	1	0	0
<b>Subtotal</b>	4	4	6	0	0
<b>Total</b>	16				





Tabla 18. Registro de señales segmentadas por tipo y estado sobre la Radial Atenas

Estado	Reglamentación	Prevención	Información	Informal	Indefinido
<b>Bueno</b>	15	11	12	7	0
<b>Regular</b>	1	3	0	0	0
<b>Malo</b>	1	0	0	0	1
<b>Subtotal</b>	15	11	12	7	0
<b>Total</b>	51				

Tabla 19. Registro de señales segmentadas por tipo y estado sobre la Radial Escobal

Estado	Reglamentación	Prevención	Información	Informal	Indefinido
<b>Bueno</b>	3	0	4	0	0
<b>Regular</b>	0	0	0	0	0
<b>Malo</b>	0	0	0	0	0
<b>Subtotal</b>	3	0	4	0	0
<b>Total</b>	7				

Estado del señalamiento por tipo Radial El Coyol

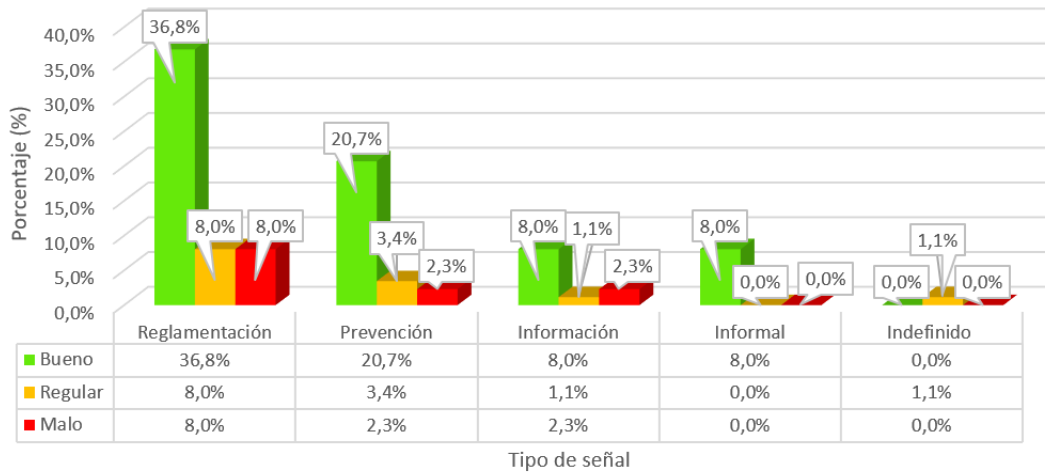


Figura 84. Estado de las señales verticales por tipo sobre la Radial El Coyol

### Estado del señalamiento por tipo Radial Turrucars

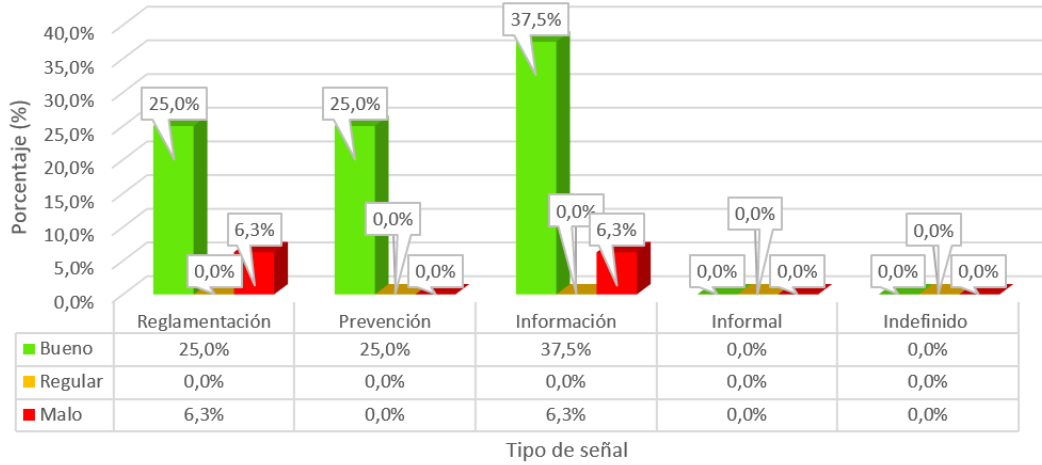


Figura 85. Estado de las señales verticales por tipo sobre la Radial Turrúcars

### Estado del señalamiento por tipo Radial Atenas

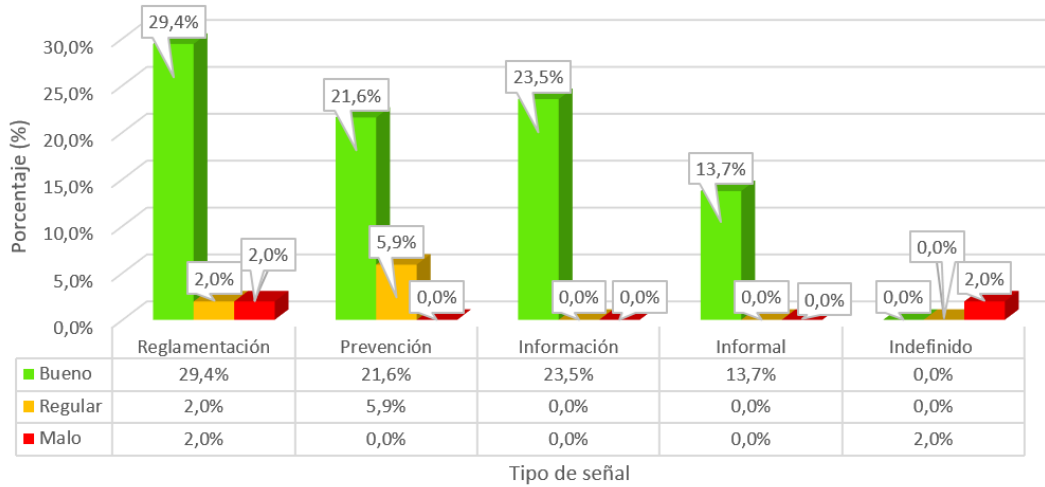


Figura 86. Estado de las señales verticales por tipo sobre la Radial Atenas

Estado del señalamiento por tipo Radial Escobal

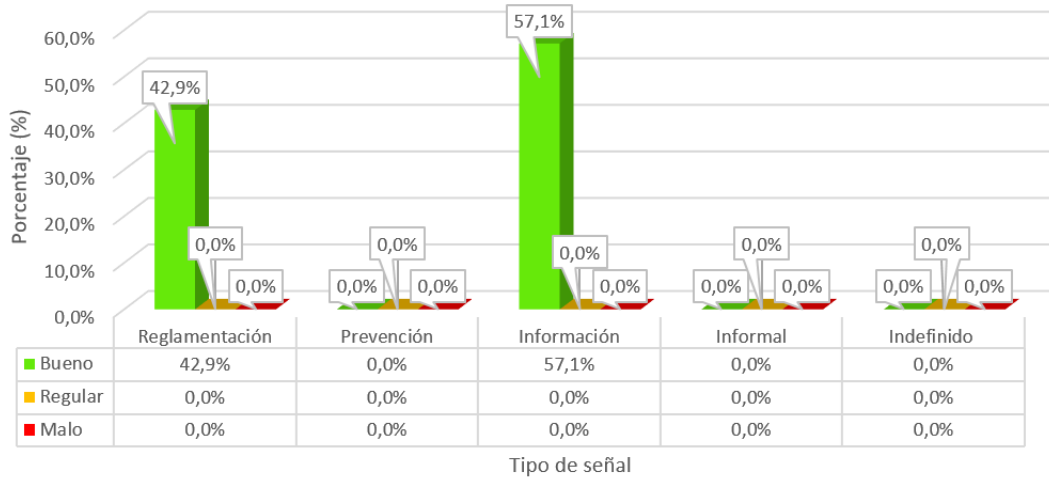


Figura 87. Estado de las señales verticales por tipo sobre la Radial Escobal

De forma complementaria, en la Figura 86 y Figura 87 se evidencia mediante los mapas que la mayoría de las señales presentan un estado *Buena*, condición visible mediante los elementos de color verde. Cabe destacar que esta evaluación se realizó de forma diurna y mediante auscultación visual, por lo que no sustituye un estudio que mida la capacidad de retrorreflectividad de los viniles de las señales verticales.

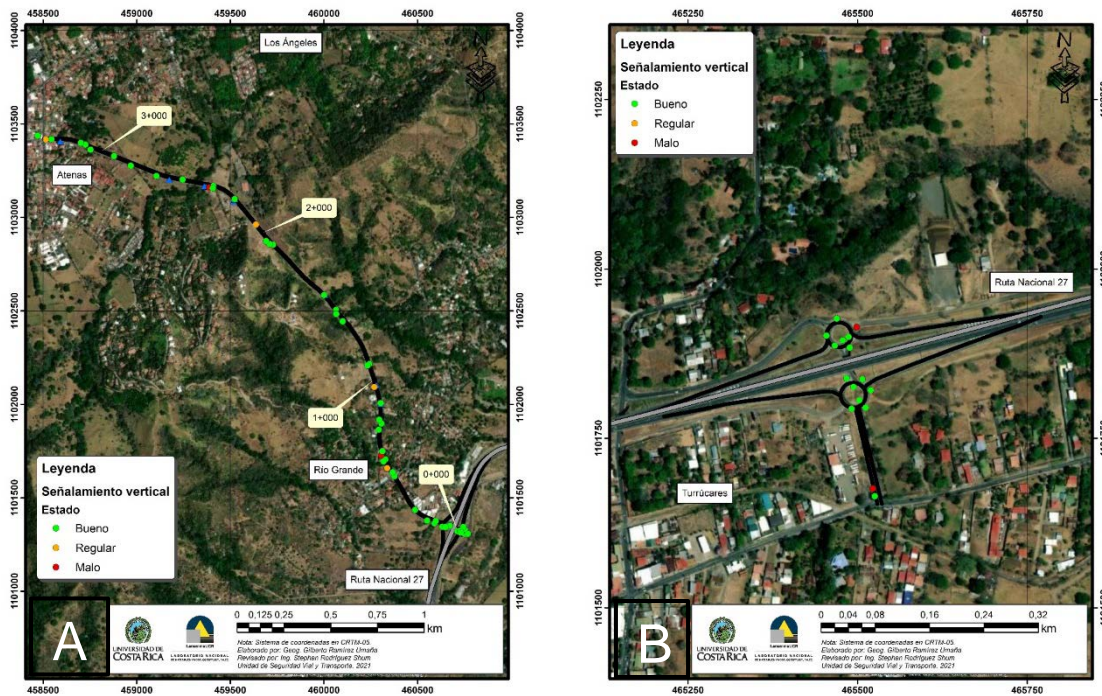


Figura 88. Inventario de señales verticales A) Radial Coyoil, B) Radial Turrúcares

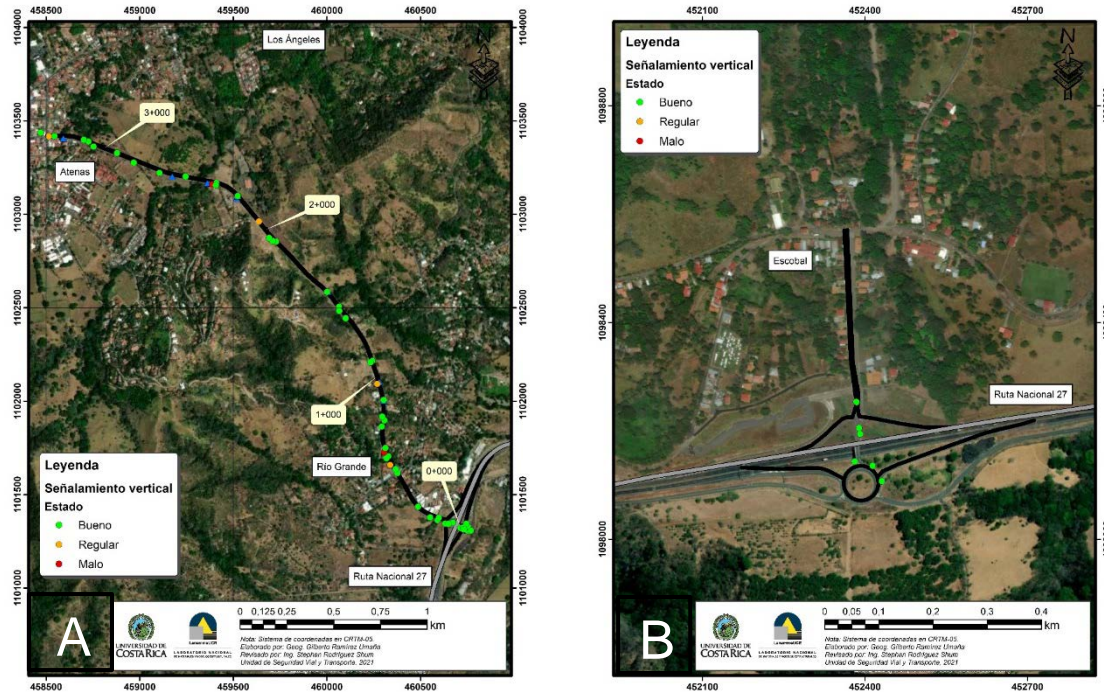


Figura 89. Inventario de señales verticales A) Radial Atenas, B) Radial Escobal

### 8.2.3 Demarcación horizontal: Ruta Nacional 27

A partir de la evaluación de los 182 tramos homogéneos, se generó la valoración porcentual del estado de la demarcación horizontal sobre la Ruta Nacional 27, donde destaca cerca de un 21 % de los tramos evaluados con un segmento crítico en condición *Mala*, seguido de un 49 % de los tramos evaluados con una condición *Regular* en el segmento crítico analizado. Los datos presentes en la Figura 88 evidencian que cerca de 70 % de la vía, presentó condiciones entre *Regular* y *Mala* para los segmentos analizados.

La tendencia a nivel del estado *Regular* y *Malo* de la demarcación horizontal presente en la Figura 88 se complementa mediante los mapas presentes en la Figura 89, Figura 90, Figura 91 y Figura 92 donde predominan los puntos naranjas y rojos, correspondientes al estado *Regular* y *Malo*, respectivamente, de los puntos críticos en los que se evaluó la demarcación.

Cabe destacar que la auscultación visual permite determinar el estado visual del material utilizado para la demarcación horizontal, condición que, a pesar de no sustituir una evaluación de la retrorreflectividad del material, indica que la vía presenta condiciones deficientes de mantenimiento que deben atenderse y que podrían incidir en bajo niveles de retrorreflectividad de la demarcación horizontal.





### Estado de la demarcación horizontal en la RN27

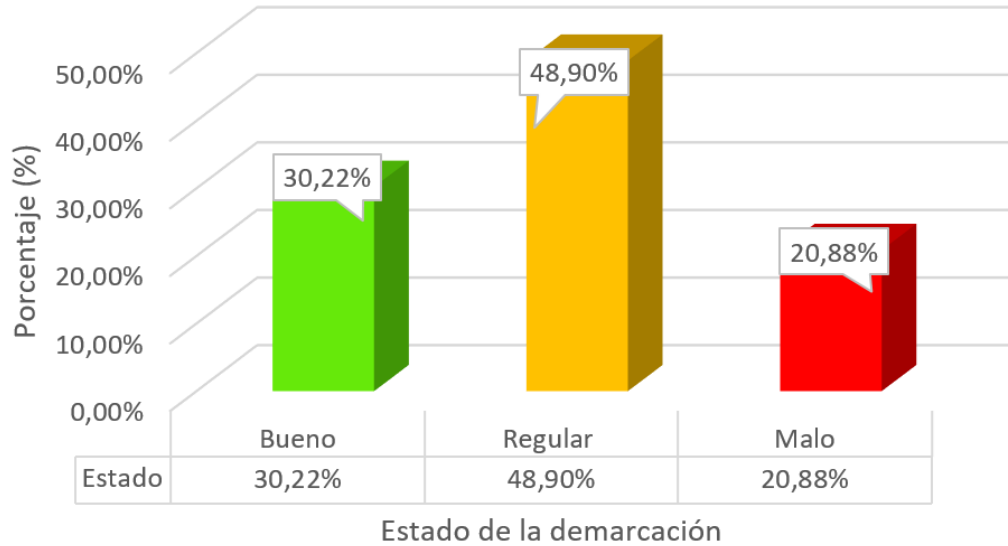


Figura 90. Estado de la demarcación horizontal sobre la Ruta Nacional 27 en el tramo crítico evaluado por cada tramo homogéneo

Nota: Se entiende por Bueno: sección con todos los elementos de la demarcación en estado bueno, Regular: sección con al menos 1 elemento de la demarcación regular o mala y Malo: sección con el 50% de los elementos en estado malo.



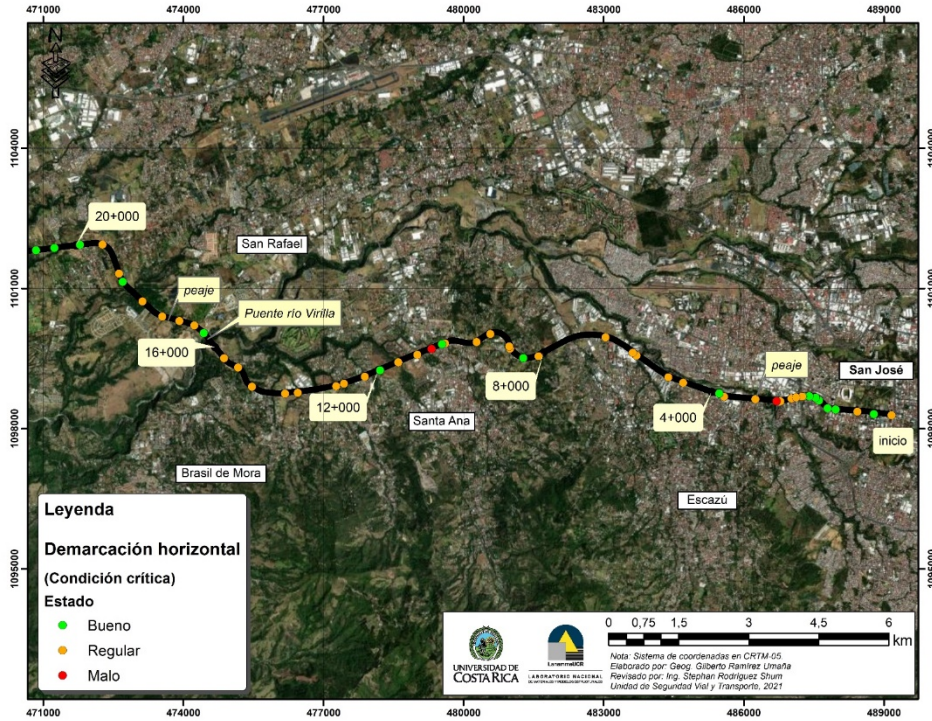


Figura 91. Evaluación de la demarcación horizontal, RN27, sección 0+000 – 20+000

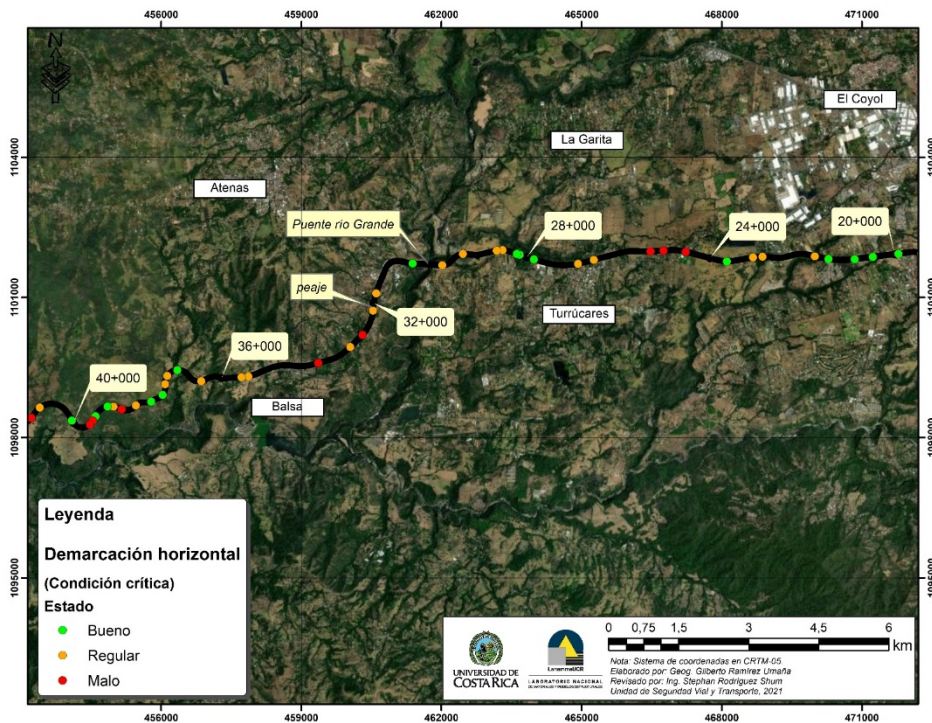


Figura 92. Evaluación de la demarcación horizontal, RN27, sección 20+000 – 40+000



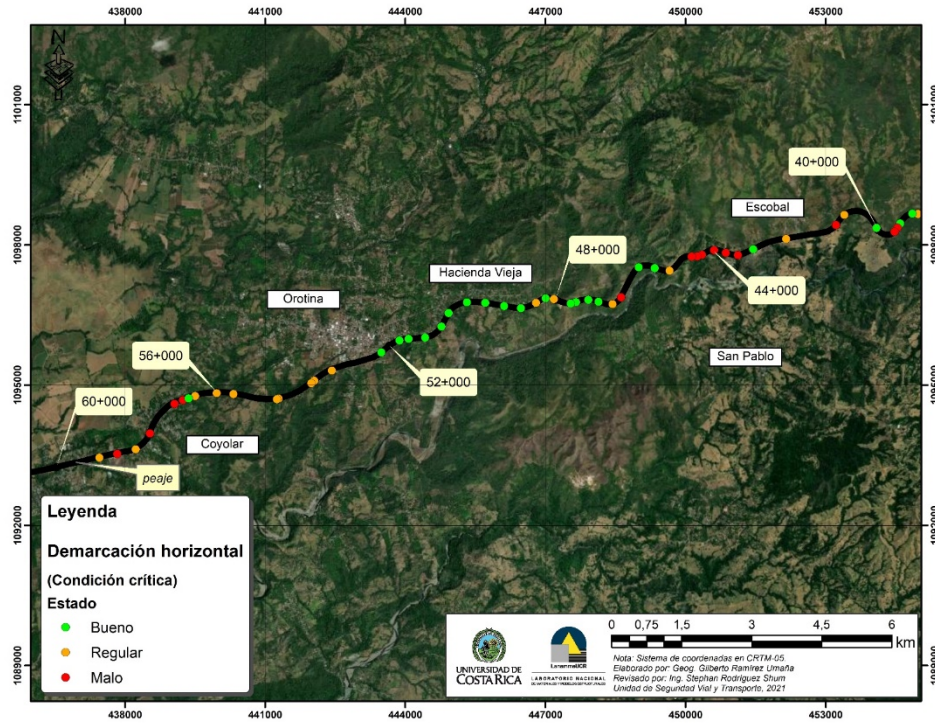


Figura 93. Evaluación de la demarcación horizontal, RN27, sección 40+000 – 60+000

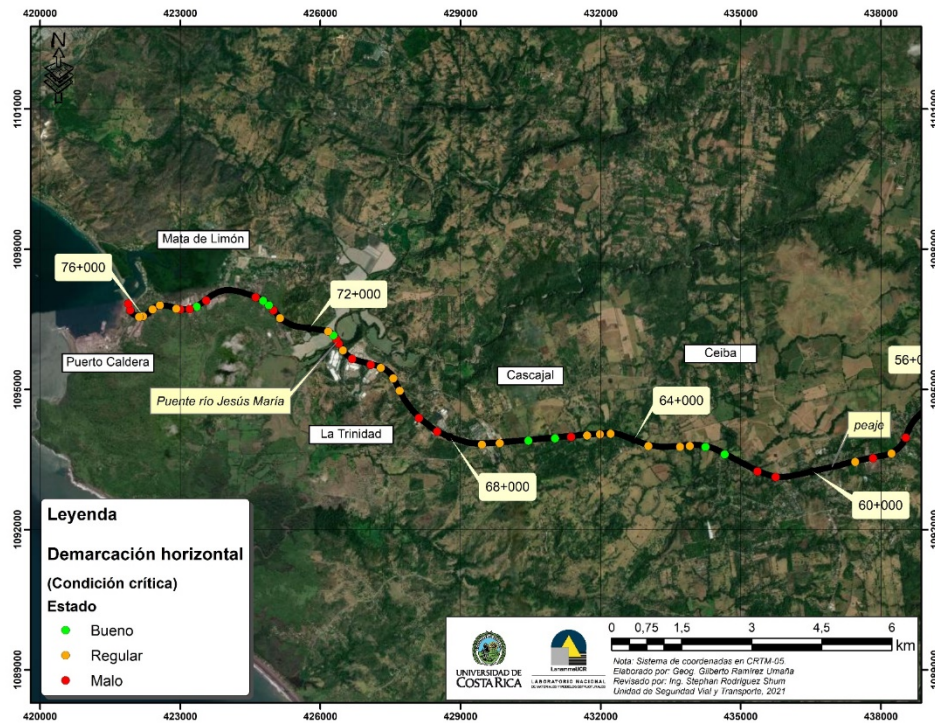


Figura 94. Evaluación de la demarcación horizontal, RN27, sección 60+000 – 76+000



#### 8.2.4 Demarcación horizontal: Radiales

A partir de la evaluación de los 40 tramos homogéneos sobre todas las Radiales, se generó la valoración porcentual del estado de la demarcación horizontal global de las radiales El Coyol, Turrúcares, Atenas y Escobal, donde destaca cerca de un 48 % de los tramos evaluados con un segmento crítico en condición *Mala*, seguido de un 30 % de los tramos evaluados con una condición *Regular* en el segmento crítico analizado. Los datos presentes en la Figura 93 evidencian que cerca de un 78 % de la vía, presentó condiciones entre *Regular* y *Mala* para los segmentos analizados.

De forma complementaria, al analizar la tendencia del estado de la demarcación horizontal a nivel específico por radial, se obtienen las siguientes observaciones a partir de la Figura 94:

- **Radial El Coyol:** se registraron 15 puntos críticos donde se evaluó el estado de la demarcación horizontal, resalta que cerca de un 47 % presentan condición *Mala* y cerca de un 33 % una condición *Regular*, esto equivale a un 80 % en condición *Regular* y *Mala* para los sitios críticos que se evaluaron, circunstancia que requiere atención por parte de la Concesionaria.
- **Radial Turrúcares:** se registraron 3 puntos críticos donde se evaluó el estado de la demarcación horizontal, de estas, el 100 % de los 3 puntos analizados presentaron condiciones en la categoría *Mala*.
- **Radial Atenas:** se registraron 18 puntos críticos donde se evaluó el estado de la demarcación horizontal, resalta que 50 % presentan una condición *Mala* y un 33 % una condición *Regular*, esto equivale a un 83 % en condición *Regular* y *Mala* para los sitios críticos que se evaluaron, circunstancia que requiere atención por parte de la Concesionaria.
- **Radial Escobal:** se registraron 4 puntos críticos donde se evaluó el estado de la demarcación horizontal, de estas el 75 % presentó un estado *Bueno*.

La tendencia a nivel del estado de la demarcación horizontal presente en la Figura 94 se complementa mediante los mapas presentes en la Figura 95 y Figura 96, donde predominan los puntos naranjas y rojos, correspondientes al estado *Regular* y *Malo*, respectivamente, de los puntos críticos en los que se evaluó la demarcación.

Cabe destacar que la auscultación visual permite determinar el estado visual del material utilizado para la demarcación horizontal, condición que, a pesar de no sustituir una evaluación de la retrorreflectividad del material, indica que la vía presenta condiciones deficientes de mantenimiento que deben atenderse y que podrían incidir en bajo niveles de retrorreflectividad de la demarcación horizontal.

## Estado demarcación horizontal Radiales

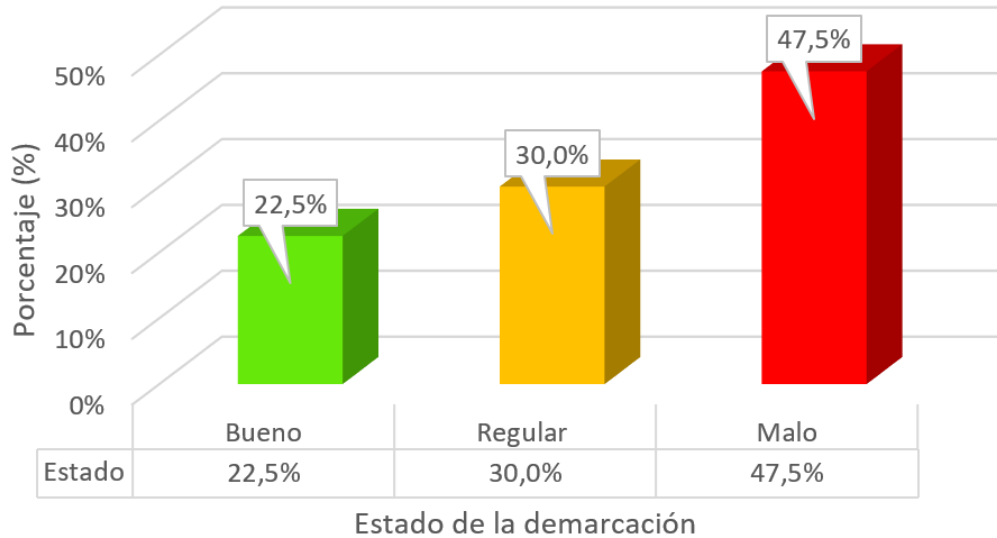


Figura 95. Estado de la demarcación horizontal sobre las Radiales en el tramo crítico evaluado por cada tramo homogéneo

## Estado demarcación horizontal por radiales

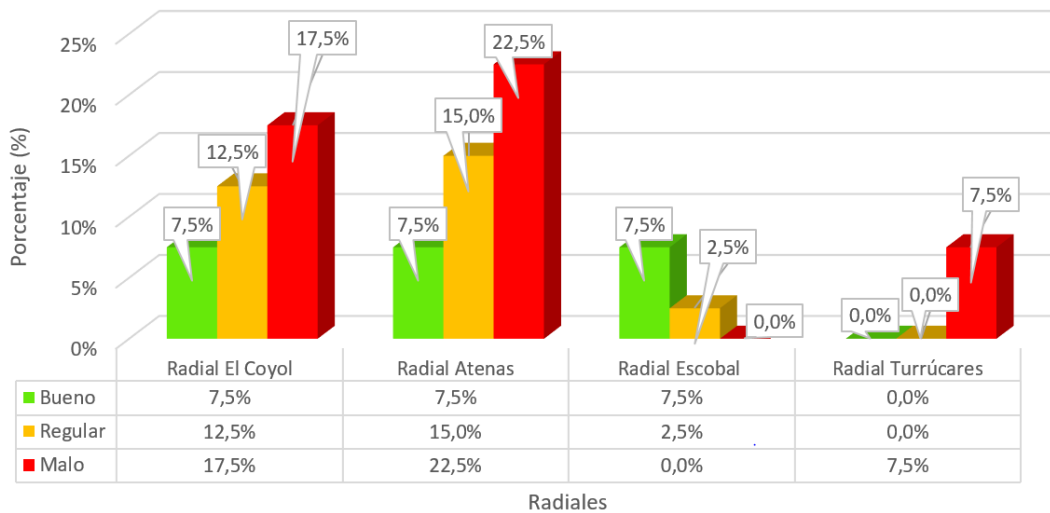


Figura 96. Estado de la demarcación horizontal para cada radial en el tramo crítico evaluado por cada tramo homogéneo

Nota: Se entiende por Bueno: sección con todos los elementos de la demarcación en estado bueno, Regular: sección con al menos 1 elemento de la demarcación regular o mala y Malo: sección con el 50% de los elementos en estado malo.



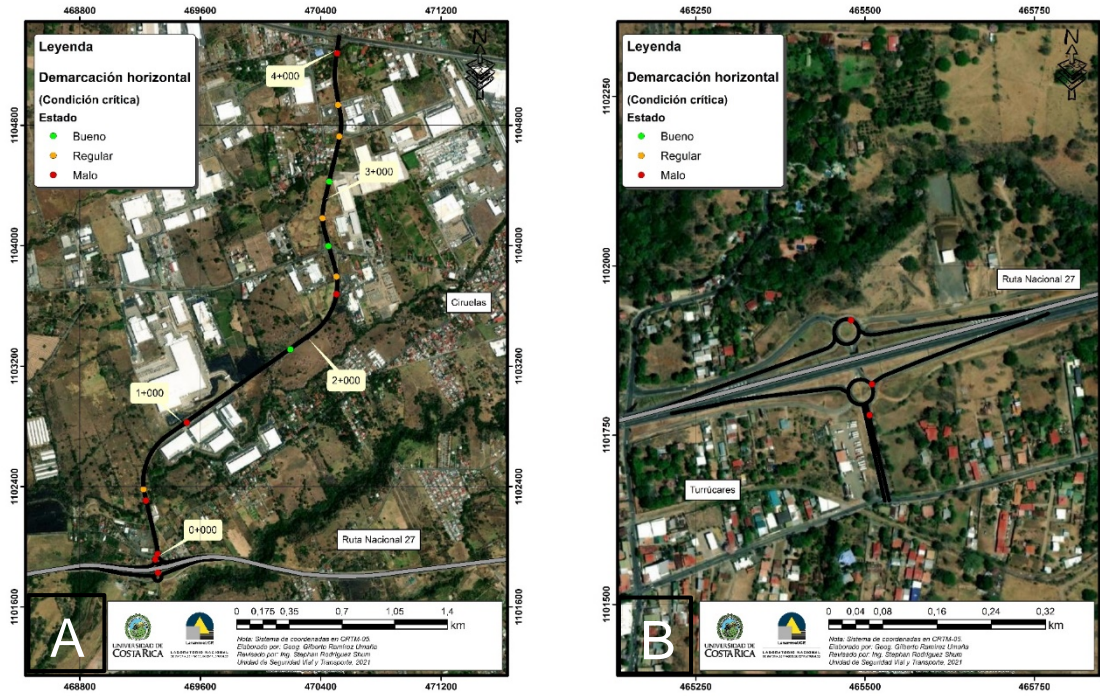


Figura 97 Evaluación de la demarcación horizontal A) Radial Coyol, B) Radial Turrúcares

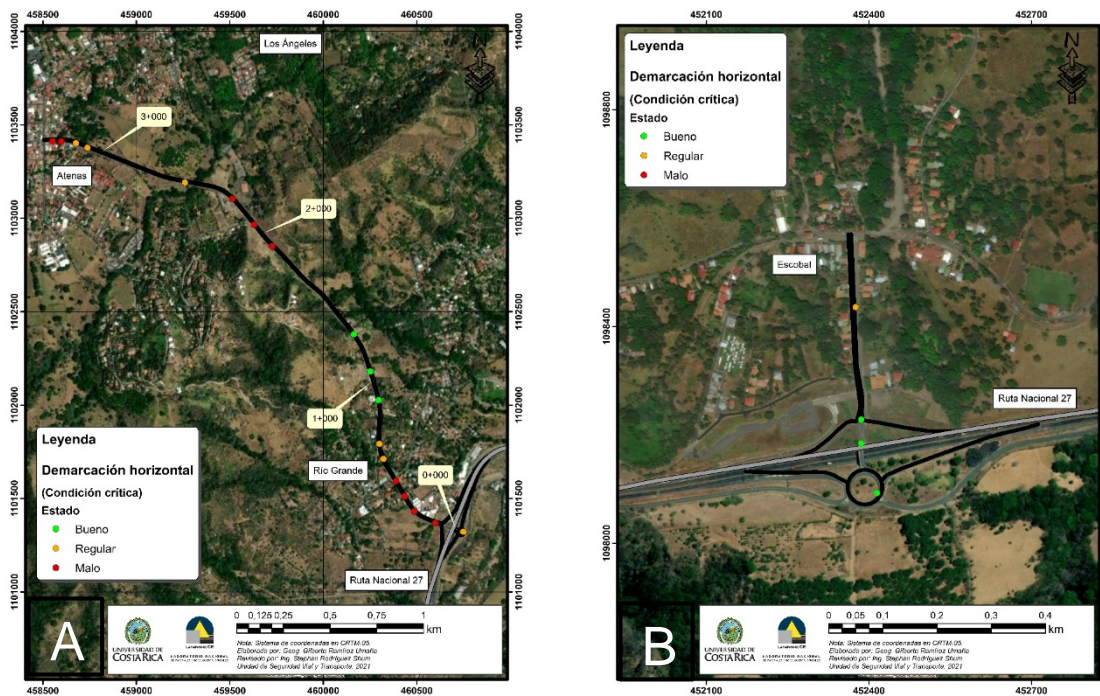


Figura 98. Evaluación de la demarcación horizontal A) Radial Atenas, B) Radial Escobal





### 8.3 Evaluación de sistemas de contención vehicular

En función de los criterios expuestos en la *Sección 7.1.2.3 Evaluación de los sistemas de contención vehicular*, se presenta la evaluación segmentada para la Ruta Nacional 27 y las radiales.

#### 8.3.1 Ruta Nacional 27

A partir de evaluación de los sistemas de contención vehicular (SCV) sobre la Ruta Nacional 27, se identificaron 792 dispositivos con algún grado de deficiencia o deterioro, de los cuales se evidenció un 1 % en condición *Colisionado* y un 99 % en condición *Deficiente*. Ambas condiciones podrían propiciar la ocurrencia de choques viales o aumentar la severidad del evento. En la Figura 97 se detallan los porcentajes antes expuestos asociados a los SCV en condición *Deficiente* y *Colisionado*. A su vez, para ambas condiciones, los SCV se clasificaron en estado *Regular* o *Crítico*. Para el caso de los SCV en condición *Deficiente* (99 % del total), se identifica un 41 % en estado *Crítico*.

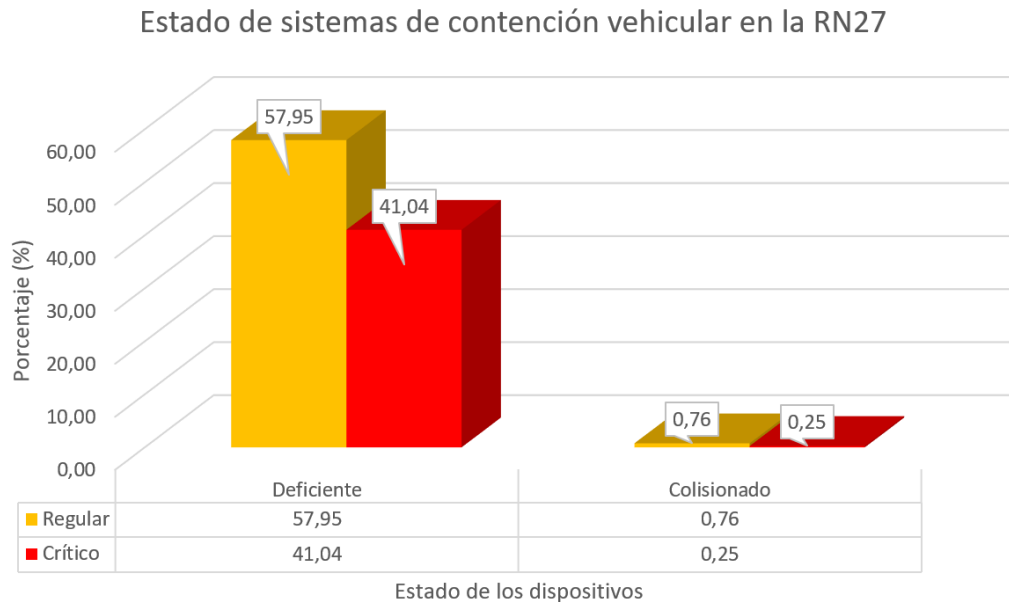


Figura 99. Estado de los sistemas de contención vehicular deficientes y colisionados sobre la Ruta Nacional 27

Del 99 % de SCV en condición *Deficiente* del gráfico en la Figura 97, se procedió a segregar su estado en función del tipo de dispositivo, como se observa en la Figura 98. De estos se evidencia que un 99% de los dispositivos con condiciones *deficientes* se enfocan en *discontinuidades* entre SCV, *terminales* y *transiciones* deficientes.

De forma específica, un 39% de las deficiencias corresponden a *discontinuidades*, estas se enfocan en la ausencia de vinculación entre elementos consecutivos, condición que se observa en la Figura 99. Es importante destacar que las *discontinuidades*



registradas prioritariamente se enfocaron en la presencia de luminarias en la barrera mediana, condición recurrente en todo el proyecto, sin embargo, también se registraron discontinuidades por presencia de bases de señales, pilas de puentes o espacios vacíos entre barreras consecutivas.

Las *transiciones* en general, como se observa en la Figura 98 se clasificaron como *Regulares*, ya que, a pesar de encontrarse estructuralmente en buen estado como se observa en la Figura 99, estas no responden a transiciones aceptadas bajo normativa estadounidense o europea ni a diseños oficialmente recomendados por fabricantes.

A nivel de *terminales*, cerca de un 37 % se ubicó en estado *Crítico*, esto por las deficiencias que se evidencian en toda la ruta, tanto en la mediana, aproximaciones a peajes y zonas laterales, riesgos visibles en la Figura 101.

A partir de los datos recolectados acerca del estado de los sistemas de contención vehicular, se generaron los mapas presentes en la Figura 102, Figura 103, Figura 104 y Figura 105. Estos mapas evidencian la ubicación espacial de las deficiencias, en conjunto con la segregación de la vía en función de su sección transversal, específicamente, la presencia de una división física que separa los flujos de circulación mediante una mediana o barrera de contención vehicular en la mediana.

De los mapas resalta que las *discontinuidades* se ubican predominantemente en las zonas con división física, por lo que a pesar de que la división física evita las colisiones frontales entre flujos de circulación opuestos, la infraestructura utilizada en las medianas genera riesgos potenciales ante la ocurrencia de un choque contra las *discontinuidades*. Cabe destacar que las *discontinuidades* en zonas con división física se extienden por 35 km en todo el proyecto, equivalentes a 46 % de toda la vía. Estas zonas presentan barreras en la mediana, con elementos que irrumpen la continuidad de los sistemas de contención vehicular y limitan su correcto funcionamiento.

En la *Sección 8.5 Observaciones complementarias* se amplía la lista de deficiencias en la *Sección 8.5.2 Sistemas de contención vehicular*, donde la Figura 137 ejemplifica los riesgos que los sistema de contención vehicular deficientes han generado en la ruta.

Estado de sistemas de contención vehicular deficientes en la RN27

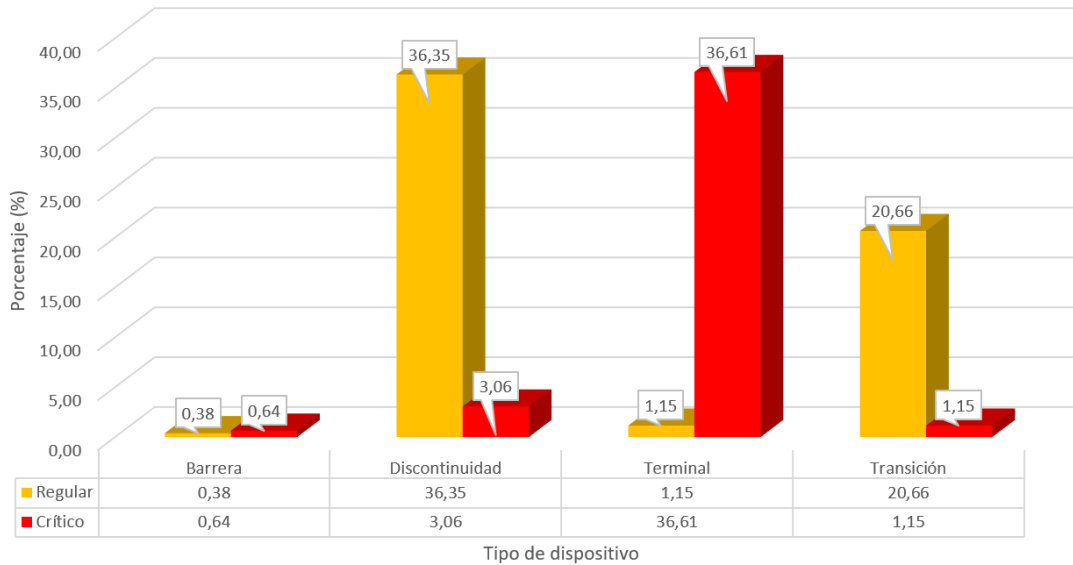


Figura 100. Estado de los sistemas de contención vehicular por tipo de deficiencias sobre la Ruta Nacional 27



Figura 101. Deficiencias críticas a nivel de discontinuidades en barrera medianera (A) y en pretil de puente (B)





Figura 102. Deficiencia regular en transición de barreras laterales (A) y deficiencia crítica en transición de barrera medianera (B)



Figura 103. Deficiencias críticas a nivel de terminales: inicio de barrera medianera (A), inicio de barrera lateral (B), zona de peaje (C) y rampa de salida (D)



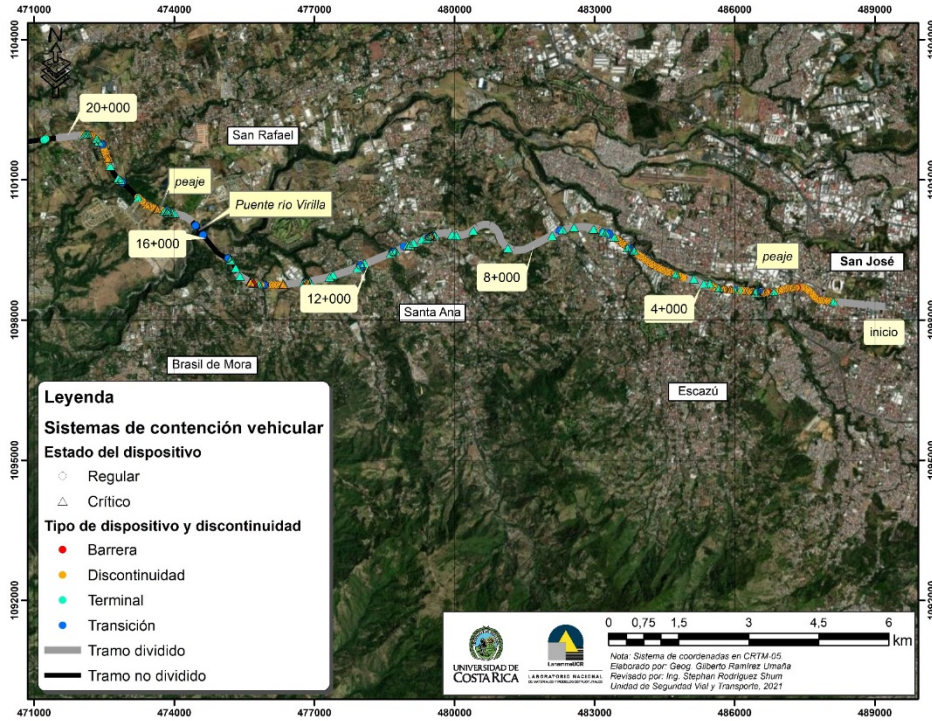


Figura 104. Evaluación de los SCV deficientes, RN27, sección 0+000 – 20+000

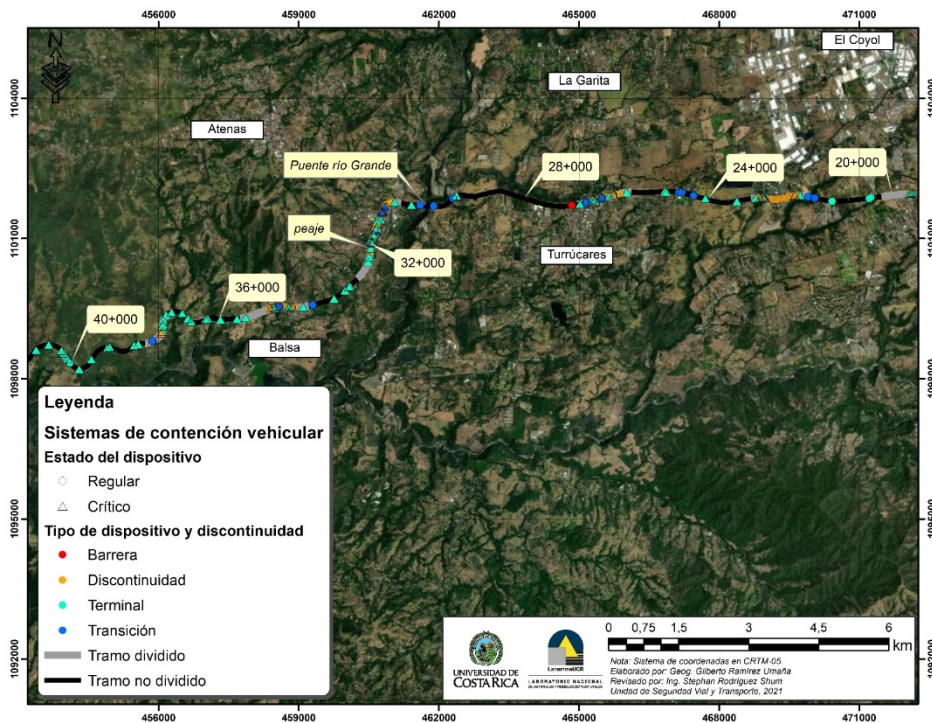


Figura 105. Evaluación de los SCV deficientes, RN27, sección 20+000 – 40+000





Figura 106. Evaluación de los SCV deficientes, RN27, sección 40+000 – 60+000

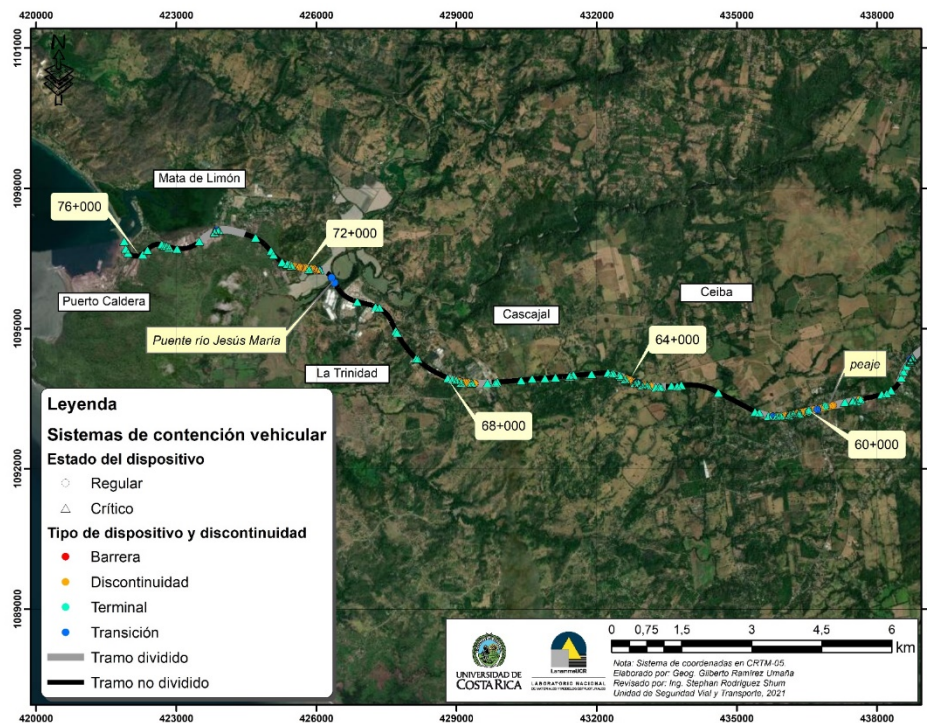


Figura 107. Evaluación de los SCV deficientes, RN27, sección 60+000 – 76+000



### 8.3.2 Radiales

A partir de la evaluación de los SCV sobre cada una de las Radiales, se identificaron 82 dispositivos con algún grado de deficiencia o deterioro, de los cuales se evidenció un 1 % en condición *Colisionado* y un 99 % en condición *Deficiente*. Ambas condiciones podrían propiciar la ocurrencia de choques viales o aumentar la severidad del evento. En la Figura 106 se detallan los porcentajes antes expuestos asociados a los SCV en condición *Deficiente* y *Colisionado*. A su vez, para ambas condiciones, los SCV se clasificaron en estado Regular o Crítico. Para el caso de los SCV en condición *Deficiente* (99 % del total), se identifica un 66 % en estado *Crítico*.

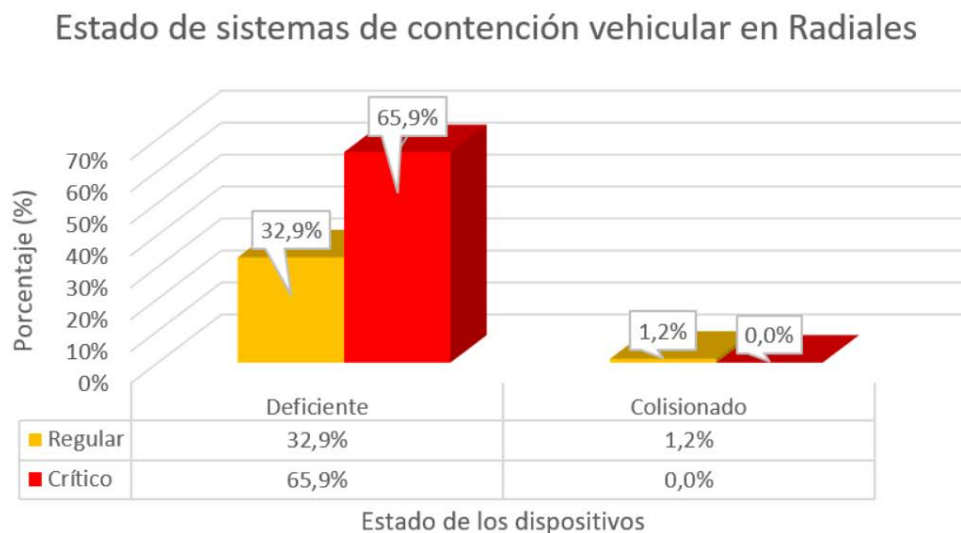


Figura 108. Estado de los sistemas de contención vehicular deficientes y colisionados sobre las Radiales

Del 98,8 % de SCV en condición *Deficiente* de la Figura 106, se procedió a segregar su estado en función del tipo de dispositivo, como se observa en la Figura 107. De estos se evidencia que un 80,3 % de los dispositivos con condiciones *Deficientes* corresponden a los terminales. A nivel de transiciones, se identificó un 19,8 % en estado *Regular*, esto al valorar que los dispositivos identificados no responden a los diseños típicos de transiciones.

Al analizar las deficiencias por radiales presentes en la Figura 108, Figura 109 y Figura 110, se evidenció que tanto la Radial El Coyol como la de Atenas presentan predominantemente deficiencias a nivel de *terminales* con estado *Crítico*, con un 68 % y 73 % respectivamente. En el caso de la Radial Escobal las deficiencias son predominantes a nivel de *transiciones*, con un 57 % con estado *Regular*.



En la Figura 111 y Figura 112 se observan los sistemas de contención vehicular deficientes registrados segmentado por tipo y estado, estos permiten evidenciar de forma gráfica las condiciones expuestas acerca de las deficiencias a nivel de terminales y transiciones.

En el caso específico de la Radial Turrúcares, no se identificaron sistemas de contención vehicular, por lo que no se presentan registros.

Estado de sistemas de contención vehicular deficientes en Radiales

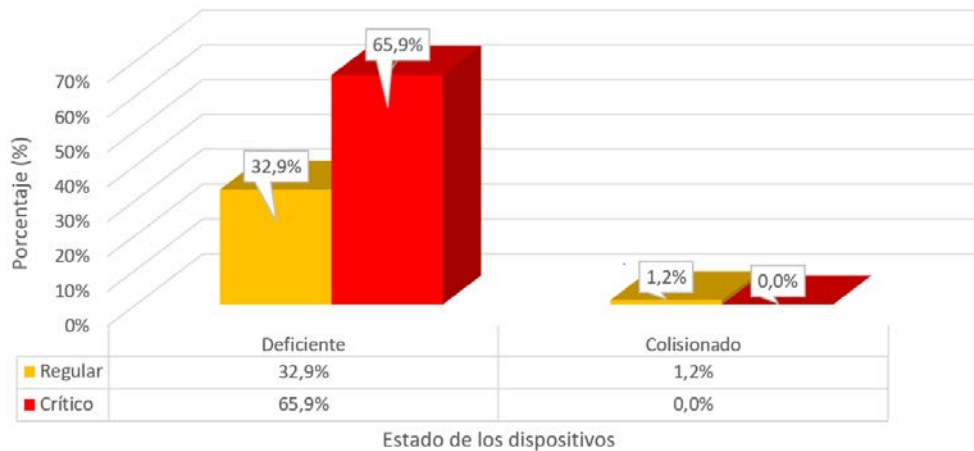


Figura 109. Estado de los sistemas de contención vehicular por tipo de deficiencias sobre las Radiales

### Dispositivos condición deficiente Radial El Coyal

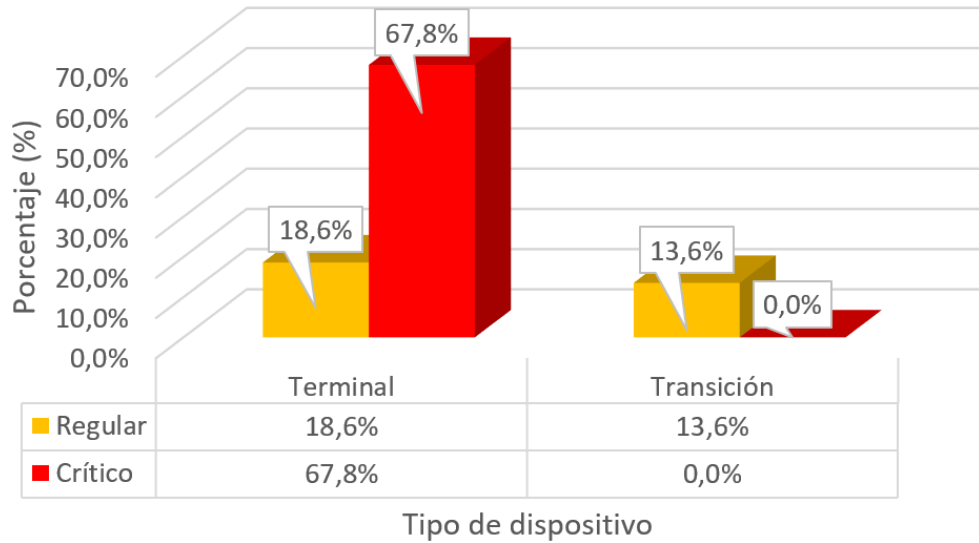


Figura 110. Estado de los sistemas de contención vehicular por tipo de deficiencias sobre Radial El Coyal

### Dispositivos condición deficiente Radial Atenas

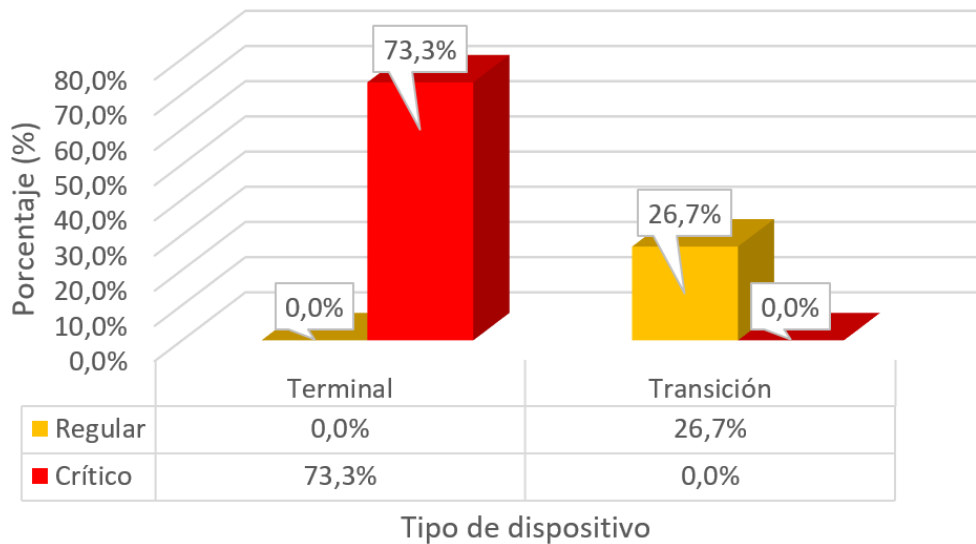


Figura 111. Estado de los sistemas de contención vehicular por tipo de deficiencias sobre Radial Atenas



## Dispositivos condición deficiente Radial Escobal

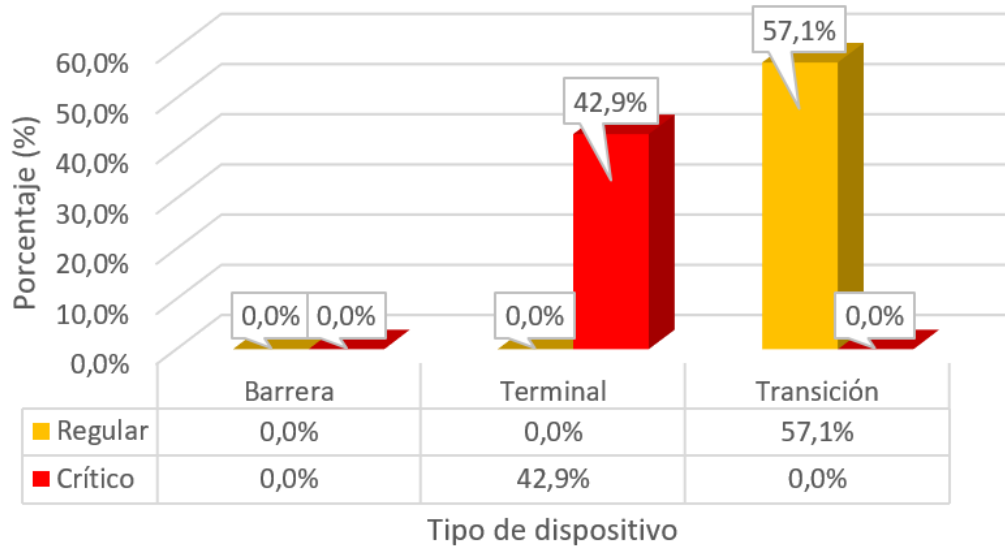


Figura 112. Estado de los sistemas de contención vehicular por tipo de deficiencias sobre Radial Escobal

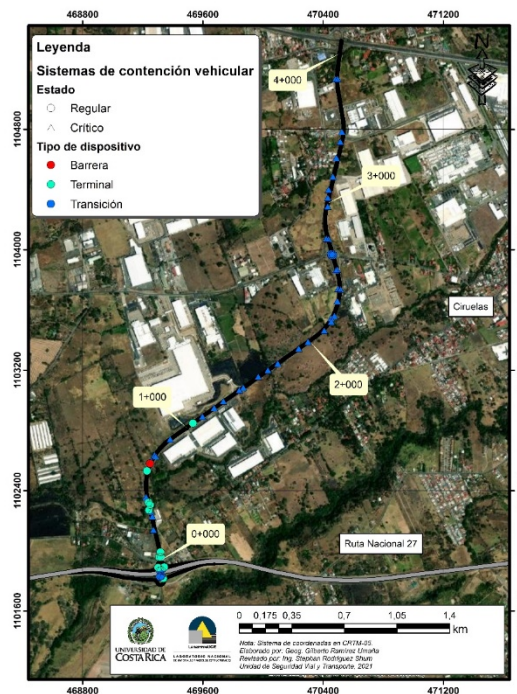


Figura 113 Evaluación de los SCV Radial Coyol



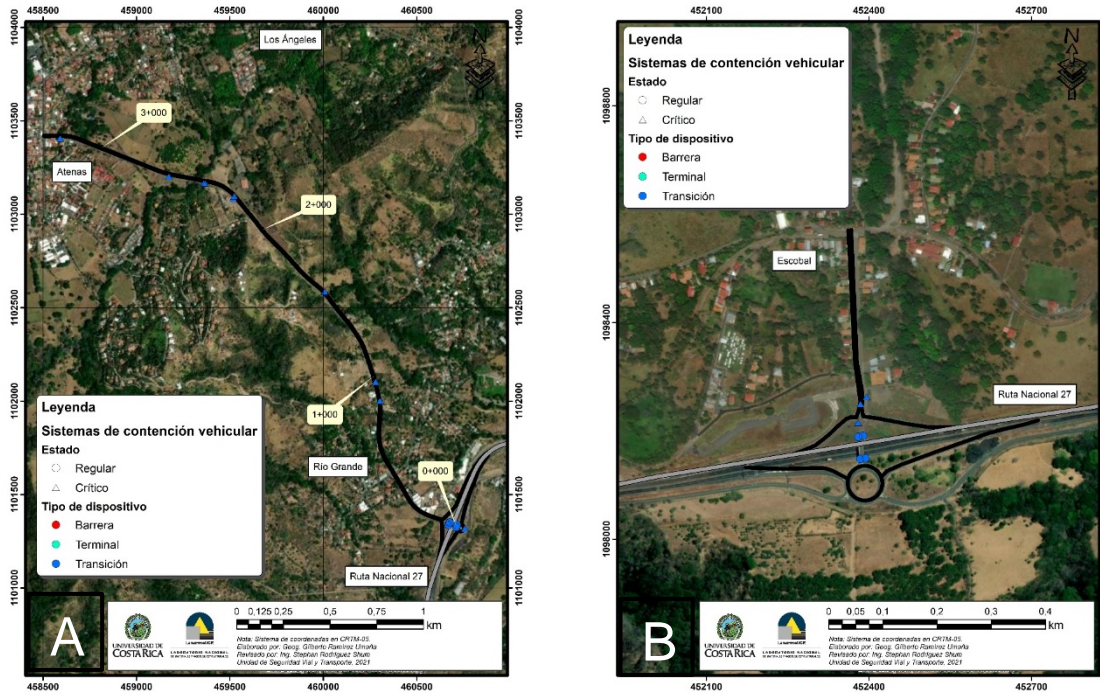


Figura 114. Evaluación de los SCV A) Radial Atenas, B) Radial Escobal



## 8.4 Análisis de choques viales

### 8.4.1 Generalidades

Los datos suministrados por el Consejo Nacional de Concesiones (CNC) asociados a los choques viales corresponden a registros del periodo 2016 al 2020. Estos datos a nivel general evidencian en el histograma de choques totales por km presente en la Figura 113 una mayor concentración de choques totales en los primeros kilómetros de la vía.

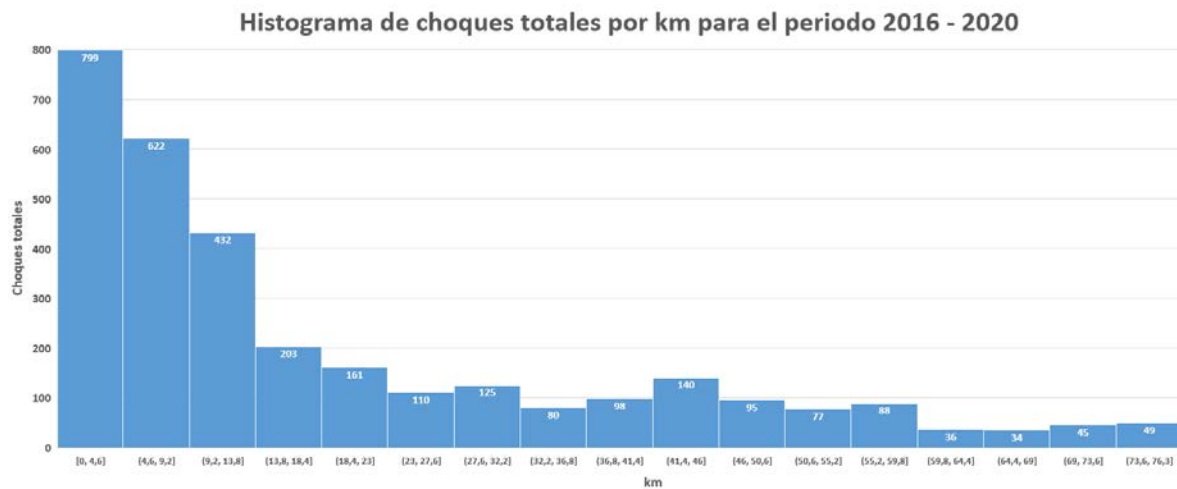


Figura 115. Histograma de choques totales por km para el periodo 2016 – 2020

El tramo de vía que corresponde a los tres segmentos del histograma con mayor cantidad de choques totales, se extiende desde el estacionamiento 0+000 hasta 13+800, este corresponde a la sección de la vía con un uso de suelo mixto en los márgenes de la vía y con características de autopista donde la geometría incita a los conductores a transitar a alta velocidad. Cabe destacar que para el periodo del 2016 al 2020, este tramo agrupó 1853 eventos de choques, valor que, al compararse con el total de toda la vía de 3194 choques viales para el periodo de estudio, corresponde a un 58 % de los choques viales de la ruta concentrados en un 18 % del total de la vía.

Al analizar los registros históricos de choques viales presentes en la Figura 114 y Tabla 20 para la Ruta Nacional 27, se obtienen las siguientes conclusiones:

- Entre el periodo 2016 – 2019 la cantidad de choques oscila en entre los 670 y 800 choques viales por año.
- El año 2016 presentó la mayor cantidad de choques mortales (24 eventos) y choques con heridas graves (56 eventos).
- El año 2019 presentó la mayor cantidad de choques con heridas leves (150 eventos), choques con solo daños materiales (617 eventos) y el registro de choques totales más alto del periodo de estudio con 803 siniestros viales.



- Los registros del 2020 evidencian una reducción superior al 50 % con respecto a los registros de años anteriores, esto como efecto de la pandemia de la COVID-19, no por cambios en la vía que propicien condiciones de movilidad más seguras.
- Ante el patrón de siniestralidad atípico del año 2020, no es recomendable aplicar métodos de estimación de tramos de concentración de choques viales mediante métodos no complejos para este año.
- Los principales tipos de choques corresponden a colisión por alcance con un 46 % sobre el total histórico, seguido por colisión lateral con un 19,7 % en proporción al total de 3194 choques viales para el periodo 2016 – 2020.

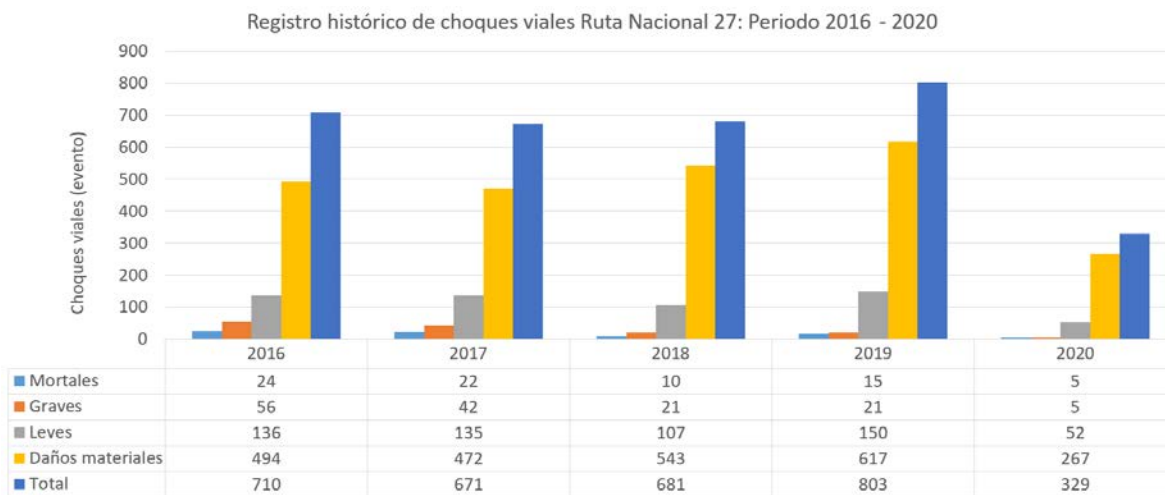


Figura 116. Registro de choques viales sobre la R.N. 27: Periodo 2016-2020

Tabla 20. Choques viales por tipo de evento sobre la R.N. 27: Periodo 2016-2020

Tipo de choque	2016	2017	2018	2019	2020	Total
Atropello	13	11	8	16	0	48
Caída	8	5	7	9	0	29
Caída de material	1	0	0	0	0	1
Colisión frontal	64	30	65	67	22	248
Colisión lateral	107	157	131	159	76	630
Colisión posterior	56	58	22	31	0	167
Colisión por alcance	320	260	296	373	231	1480
Incendio	2	4	4	9	0	19
Salida de la vía	49	43	44	56	0	192
Vuelco	62	47	50	41	0	200
Otros	28	56	54	42	0	180
Total	710	671	681	803	329	3194

Nota: Clasificación de choques basada en registros suministrados por la CNC. En la categoría de "Otros" se incorporaron las clases No guarda distancia de seguridad y otros.



#### 8.4.2 Evaluación de segmentos con ocurrencia de atropellos

La Ruta Nacional 27 es una vía que posee un diseño compatible con altas velocidades en gran parte de su recorrido, en algunos tramos incluso con características de autopista, pero que a su vez pasa muy cerca de pequeños centros urbanos lo cual genera dinámicas de interacción entre ambos lados de la carretera por parte de personas a pie y en bicicleta, incluyendo a las personas usuarias del transporte público que hacen uso de las paradas y bahías que se ubican sobre la troncal principal.

Estas falencias en el diseño de la ruta, sin una adecuada jerarquización vial que permita eliminar la necesidad de interacción de usuarios vulnerables con la troncal principal, propician la ocurrencia de atropellos. Por lo tanto, resulta de alta importancia analizar los sitios donde se concentran los atropellos a lo largo de la ruta y, por ende, analizar el uso del suelo alrededor de estos puntos, así como alrededor de puentes peatonales y paradas y bahías de autobús, para identificar mejor los factores de la infraestructura vial y del entorno que contribuyen a esa ocurrencia de atropellos.

Para identificar los sitios con presencia de atropellos a peatones y ciclistas, se cuantificó la cantidad de atropellos por tramo homogéneo y se agruparon en tramos que, por su cercanía, a nivel de movilidad se consideraron unitarios.

En la Tabla 21 se presentan los 7 tramos de análisis en los que se realizó una evaluación específica para identificar factores de riesgo de la infraestructura vial y del entorno de la vía que propician los choques de tipo atropello, esto segmentado por tramo homogéneo y con la cantidad de atropellos.



Tabla 21. Lista de tramos con ocurrencia de atropellos, periodo 2016 – 2019

Tramo	Tramo homogéneo	Longitud (m)	Inicio (km)	Final (km)	Atropellos		
					Peatón	Ciclista	Otros
1	1	362	0	0,36	2	0	0
	3	499	0,44	0,94	1	0	0
	4	420	0,94	1,36	3	0	0
2	16	342	3,46	3,8	2	0	0
	17	503	3,8	4,31	0	0	1
3	22	1344	6,2	7,54	3	1	0
	23	634	7,54	8,17	1	0	0
	29	493	10,02	10,52	4	0	0
4	31	384	10,73	11,12	3	0	1
	33	544	11,36	11,9	2	0	0
	34	302	11,9	12,2	0	1	0
	35	337	12,2	12,54	1	0	0
	36	347	12,54	12,89	1	0	0
	37	636	12,89	13,52	2	0	0
5	38	508	13,52	14,03	1	0	0
	133	292	56,64	56,94	1	0	0
6	135	938	57,12	58,06	1	0	0
	151	555	65,97	66,53	1	0	0
	152	590	66,53	67,12	0	0	2
7	157	306	69,85	70,16	1	0	0
	159	435	70,38	70,81	1	0	0
	161	158	71,08	71,23	0	0	1

Nota: la categoría de atropellos Otros responde a eventos que no corresponden al atropello de peatones y ciclistas, así como eventos que no se logran caracterizar ante la descripción poco informativa.

Hay una estrecha relación entre la ocurrencia de atropellos y el uso del suelo que circunda un determinado tramo vial. A su vez, esto se relaciona con la ubicación, en muchos casos, de paradas y bahías de autobús y de puentes peatonales.

A nivel general, un puente peatonal cubre un área máxima de aproximadamente 500 m a su alrededor, lo cual puede variar mucho según las características del entorno, de la vía y de las personas, así como de las velocidades de circulación vehicular. Entre más distante esté un puente peatonal del punto donde una persona necesita cruzar una vía, menor será la probabilidad de que la persona utilice dicho puente peatonal.

Por otra parte, en el tramo de la Ruta Nacional 27 a partir del peaje de Ciudad Colón hasta Caldera, la zona de influencia de paradas y bahías de autobús se aumenta a un radio





de 1 km para este análisis, ya que fuera de las zonas más densamente urbanas (como el sector de la carretera entre el Gimnasio Nacional y Santa Ana), las personas generalmente necesitan caminar una mayor distancia para poder acceder al servicio de transporte público. Esto se ha evidenciado a través de las mismas personas vecinas de pequeños poblados y zonas residenciales en las cercanías a la Ruta Nacional 27, las cuales incluso afirman que tienen que caminar hasta más de 1 km para acceder a la parada del autobús.

Por lo tanto, para el análisis se desarrolló un mapa para cada uno de los 7 tramos con ocurrencia de atropellos, donde se detalló:

- Ubicación de puentes peatonales y paradas/bahías de autobús.
- Tramos homogéneos con presencia de atropellos.
- Uso del suelo en zona de influencia de paradas/bahías de autobús y tramos homogéneos con atropello, segmentados según tipo de vía:
  - Tramo Sabana – Peaje Ciudad Colón (0+000 – 14+030): radio de 500 m.
  - Tramo Peaje Ciudad Colón - Caldera (14+030 – 76+310): radio de 1 km.
- Uso del suelo en zona de influencia de puentes peatonales para toda la vía: radio de 500 m.

#### 8.4.2.1 Tramo 1: Sector sur del parque de La Sabana

El tramo 1 se ubica en el sector sur del parque de la Sabana, entre el estacionamiento 0+000 y 1+360. Esta zona presenta un uso de suelo mixto entre zonas comerciales, centros de trabajo, zonas de deporte y ocio en el parque de la Sabana, condición que, ante la presencia de las paradas de autobús en ambos márgenes de la vía y la proximidad a la estación de tren, hacen que el único puente peatonal en la zona no satisfaga las necesidades de movilidad de todos los usuarios vulnerables, como se observa en la Figura 115.

El área de influencia del puente peatonal se observa a través del círculo color anaranjado con un radio de 500 m, lo cual incluso es una distancia considerable para un entorno tan densamente poblado, donde además se ubica el principal parque metropolitano de la ciudad de San José, el cual atrae a cientos de personas, sobre todo a pie y en bicicleta. El tramo de mayor ocurrencia de atropellos justamente se observa hacia la esquina suroeste de La Sabana, lo cual revela una necesidad de cruce de las personas en este sector, donde incluso las velocidades vehiculares son más altas.

Cabe resaltar que la geometría de la vía es la que propicia que las velocidades de operación sean altas, esto a pesar de encontrarse inmersa en un entorno urbano, pero en una vía con características de autopista, con una sección transversal amplia.

En este tramo se recomienda en el corto plazo ampliar la malla presente en la mediana para desincentivar los cruces peatonales a través de los carriles, sin embargo, la problemática no se resolverá hasta realizar un estudio de movilidad integral que identifique las necesidades de los usuarios más vulnerables y sus patrones de movilidad, para identificar la infraestructura necesaria y más adecuada para estas personas.

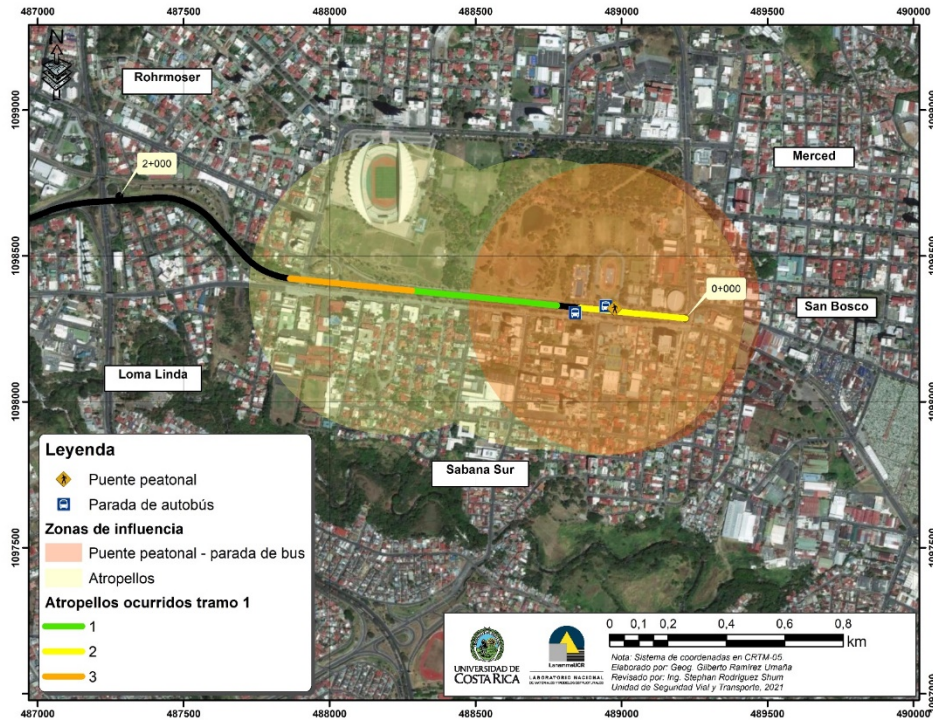


Figura 117. Tramo 1: Sector sur del parque de la Sabana

#### 8.4.2.2 Tramo 2: Inmediaciones peaje Escazú

El tramo 2 se ubica entre los estacionamientos 3+460 y 4+310, sector aledaño a los peajes de Escazú. Antes de la zona del peaje se identificó la presencia de un entorno urbano con comercios en ambos márgenes de la vía, sin embargo, al revisar los datos de choque de forma puntual, se identifica que en el tramo han sido atropellados peatones. Cabe destacar que la Figura 116 evidencia la presencia de bahías de autobús cercanas, pero no de cruces peatonales que conecten ambos márgenes.

Deberán identificarse en el corto y largo plazo medidas que permitan desincentivar el cruce de peatones sobre la Ruta Nacional 27, pero que respondan a las necesidades de movilidad de los usuarios, así como implementar un estudio de movilidad peatonal.

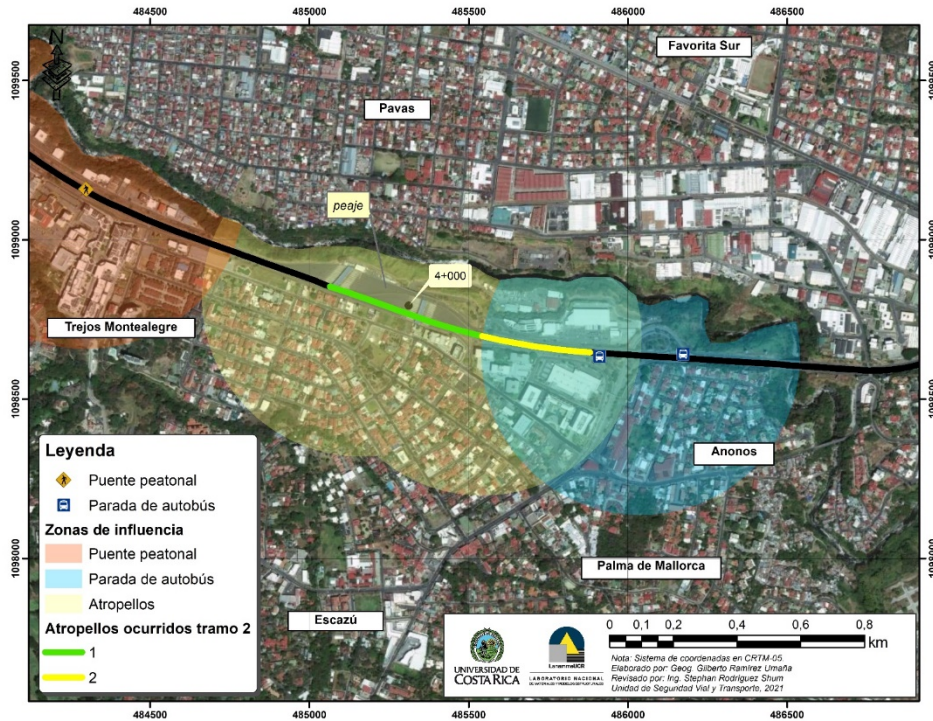


Figura 118. Tramo 2: Inmediaciones peaje Escazú

#### 8.4.2.3 Tramo 3: Entre Multiplaza Escazú y Radial Guachipelín

El tramo 3 se ubica entre los estacionamientos 6+200, frente a Multiplaza Escazú, y 8+170, aledaño a la Radial Guachipelín. Esta zona presenta algunos centros atractores de viajes a nivel comercial y de trabajo, sumado a la alta velocidad reglamentaria de una sección a 100 km/h.

Al observar la Figura 117, se evidencia que los tramos donde se identificaron atropellos se encuentran alejados del área de influencia del puente peatonal frente a Multiplaza Escazú, por lo que las personas no tienen más opción que cruzar la vía a nivel de la calzada vehicular, exponiéndose a las altas velocidades de circulación. Es claro que los atropellos demuestran que hay una necesidad de cruce de las personas, lo cual se justifica a raíz del uso del suelo en los alrededores de la vía.

A manera de medida temporal, en este tramo se recomienda en el corto plazo aumentar la longitud de la malla presente en la mediana y que sea continua, esto para desincentivar los cruces a nivel peatonal.

No obstante, se recomienda realizar un estudio de movilidad integral que identifique las necesidades de los usuarios más vulnerables (peatones y ciclistas) y sus patrones de movilidad, para identificar la infraestructura necesaria y más adecuada para estas personas.



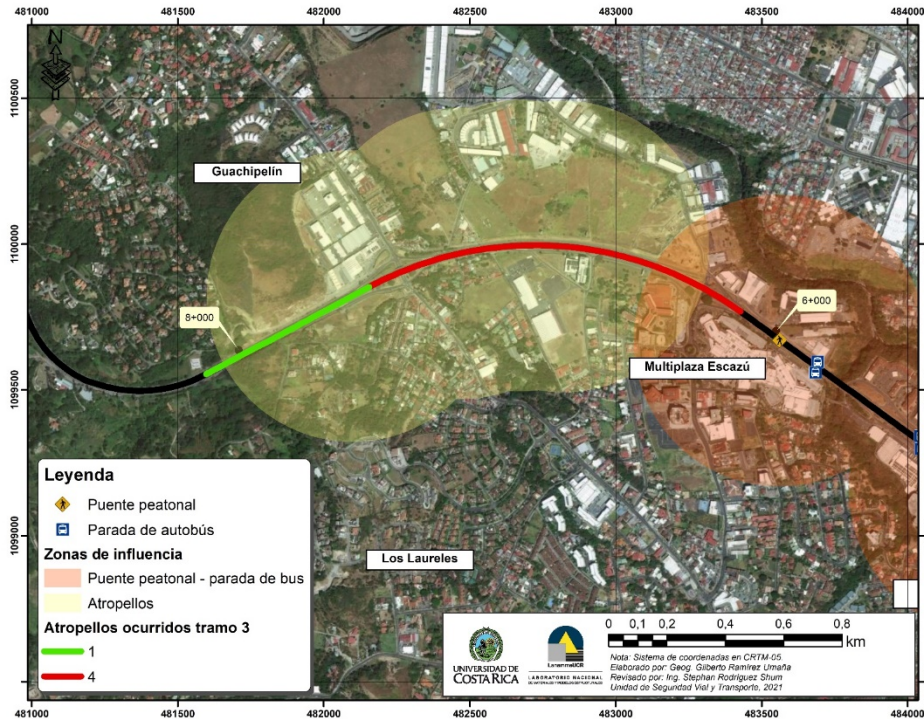


Figura 119. Tramo 3: Sector entre Multiplaza Escazú y Radial Guachipelín

#### 8.4.2.4 Tramo 4: Entre Radial Lindora – Peaje Ciudad Colón

El tramo 4 se extiende desde el estacionamiento 10+020, sección posterior a la Radial Lindora, y 14+030, sección aledaña al peaje hacia Ciudad Colón. Se evidenciaron comercios y residencias en ambos extremos de la vía que podrían incentivar el flujo peatonal entre ambos márgenes.

Al observar la zona en la Figura 118, se evidencia que la mayor cantidad de atropellos suceden en el tramo entre el estacionamiento 10+000 y 12+000, donde se concentra una cantidad importante de bahías de autobús y 2 puentes peatonales, pero estos no satisfacen las necesidades de todos los peatones en la zona.

En la figura claramente se observa que los 3 puentes peatonales se encuentran distanciados más de 1 km de distancia entre ellos, lo cual obliga a las personas a cruzar la vía sobre la calzada vehicular en muchos de estos puntos intermedios entre puentes. En los alrededores del estacionamiento 14+000 se observa uso del suelo residencial, sin ninguna facilidad para que las personas puedan cruzar la vía.

Ante las condiciones expuestas, se recomienda en el corto plazo instalar más malla en la mediana para evitar el cruce de peatones, como medida temporal.



En vista de la ampliación de la ruta, se recomienda reubicar bahías de autobús en rutas marginales, así como la ampliación de los pasos inferiores a la R.N. 27 y dotarlos de infraestructura peatonal para trasladarse entre ambas márgenes de la autopista, sin pasar sobre ella.

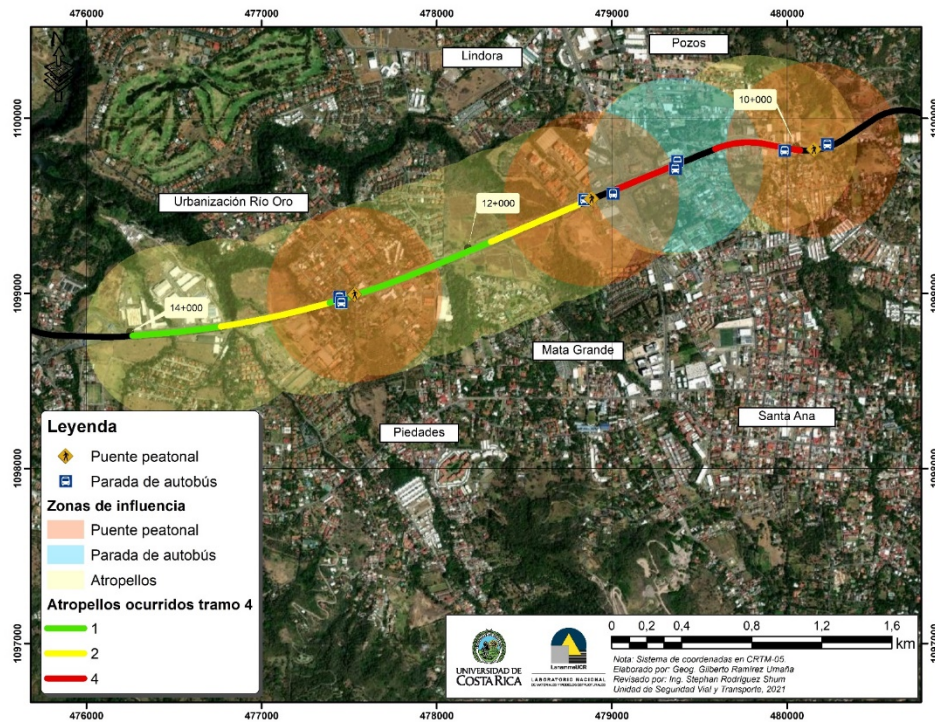


Figura 120. Tramo 4: Sector entre Radial Lindora y peaje hacia Ciudad Colón

#### 8.4.2.5 Tramo 5: Este de Radial Pozón

El tramo 5 se ubica entre el estacionamiento 56+640 y 58+060, el cual presenta en ambos márgenes comerciantes y zonas de uso residencial, condición que propicia el cruce de peatones entre ambos márgenes de la vía. Al observar el mapa de la Figura 119, se observa que las áreas construidas en la zona son amplias y dispersas, pero las facilidades de transporte público y cruce peatonal son escasas, condición que propicia la movilización y cruce de peatones sobre la Ruta Nacional 27, ante la lejanía con respecto a sus centros atractores y generadores de viajes. Adicionalmente, se observa una distancia aproximada de 200 m entre las paradas de autobús y el puente peatonal que, a pesar de estar dentro del área de influencia, desincentiva su uso por parte de las personas usuarias del transporte público, a menos que el recorrido de la persona coincida de forma más natural con la ubicación del puente.





Ante esta condición, se recomienda en el corto plazo colocar líneas alertadoras mediante efecto vibratorio y sonoro para alertar a los conductores acerca de la presencia de cambios en la dinámica de movilidad de la vía.

En vistas de la ampliación de la ruta, deberá valorarse la reubicación de los comerciantes en rutas marginales de menor velocidad y analizar el patrón de movilidad que esto genere en la zona para evitar nuevos focos de atropellos ante los cambios en el uso de suelo. También se puede considerar el diseño de un área de descanso, la cual es un área formal que se diseña con instalaciones adecuadas en las cercanías de una vía principal interurbana para que los usuarios puedan detenerse de forma segura y cómoda para descansar y hacer uso de los servicios antes de continuar su viaje. Las áreas de descanso requieren de carriles adecuados de desaceleración en sus entradas y de aceleración en sus salidas para ingresar de nuevo a la carretera. Estas áreas que son muy comunes en muchos países generan un gran atractivo y dinamizan el comercio y la actividad de la zona, sin comprometer la seguridad de los usuarios sobre la vía principal.

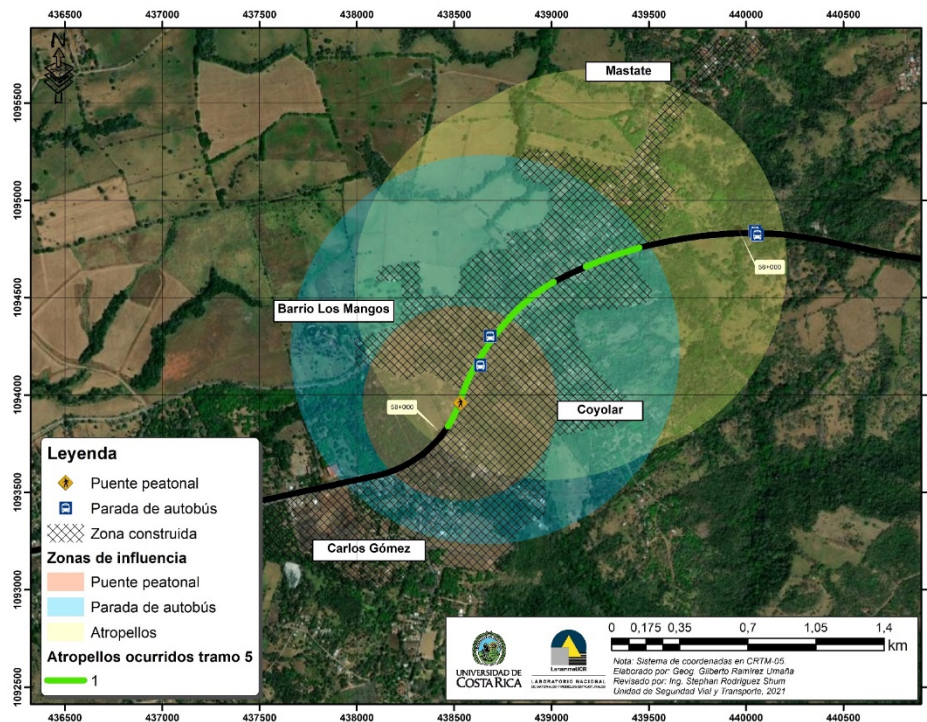


Figura 121. Tramo 5: Este de Radial Pozón

#### 8.4.2.6 Tramo 6: Entre Radial Ceiba – Radial Cascajal

El tramo 6 se ubica entre los estacionamientos 65+970 y 67+120, zona que presenta asentamientos poblacionales que conectan con la Ruta Nacional 27 para cruzar al otro



extremo de la vía o acceder al servicio de transporte público. Al verificar el mapa de la Figura 120, se evidencia la lejanía entre las zonas construidas y las bahías de autobús, longitud que incluso puede superar 1 km de distancia.

Se recomienda analizar las dinámicas de movilidad del sitio mediante un estudio integral de movilidad y dotar al sitio de la infraestructura necesaria para realizar el cruce de peatones entre ambos márgenes de forma segura.

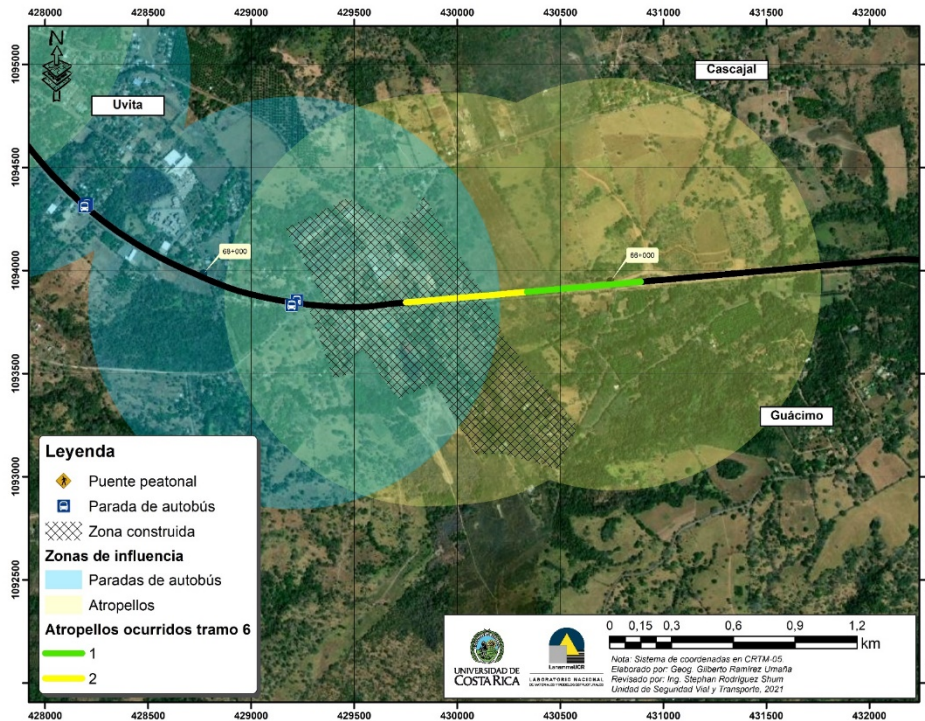


Figura 122. Tramo 6: Sector entre Radial Ceiba y Radial Cascajal

#### 8.4.2.7 Tramo 7: Inmediaciones de Servicentro 27, Predio Caldera, Almacén Caldera

El tramo 7 se ubica entre los estacionamientos 69+850 y 71+230, zona que presenta predios y bahías de autobús a ambos lados de la vía, así como la presencia del Parque Industrial Pacífico, sin embargo, no hay infraestructura que permita un cruce seguro entre los márgenes, condición evidente en la Figura 121.

Se recomienda analizar las dinámicas de movilidad del sitio mediante un estudio integral de movilidad y dotar al sitio de la infraestructura necesaria para realizar el cruce de peatones entre ambos márgenes de forma segura.



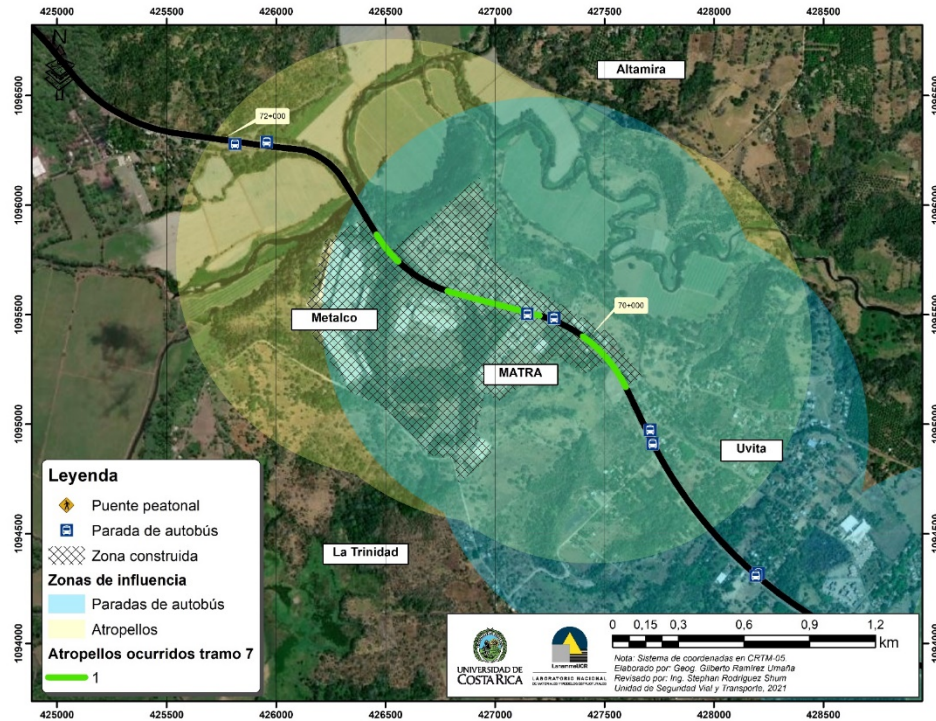


Figura 123. Tramo 7: Inmediaciones de Servicentro 27, Predio y Almacén Caldera

#### 8.4.2.8 Atropellos ciclistas y otros

En la Tabla 21 se presenta el desglose de atropellos para cada tramo analizado, a pesar de que la mayoría fueron peatones, se identificaron ciclistas y caballos dentro de los registros, por lo que se recomienda analizar la movilidad de forma integral en el proyecto, de forma de que se dote de condiciones o rutas alternas para que todos los posibles usuarios puedan circular de forma segura.

#### 8.4.3 Evaluación de tramos de concentración de choques viales

Basado en la metodología expuesta en la *Sección 7.1.4.2 Identificación de tramos de concentración de choques viales* y la Tabla 14 donde se expone la clasificación por riesgo de siniestralidad, se generó clasificación por colores para el riesgo de siniestralidad presente en la Tabla 22 y la Tabla 23 con los tramos homogéneos que presentan un riesgo de siniestralidad superior a 0.



Tabla 22. Clasificación de exposición al riesgo por choques viales por categoría de color

Riesgo de siniestralidad	Clasificación
0	Sin evidencia de riesgos a partir de choques viales
1	Riesgo medio de ocurrencia de choques viales
2	
3	Riesgo alto de ocurrencia de choques viales
4	
5	Riesgo muy alto de ocurrencia de choques viales
6	
7	

Tabla 23. Tramos homogéneos en función del riesgo de siniestralidad

Tramo homogéneo	Longitud (m)	Inicio (km)	Final (km)	Riesgo de siniestralidad
3	499,33	0,44	0,94	1
4	419,79	0,94	1,36	3
5	181,73	1,36	1,54	1
9	69,66	1,99	2,06	2
10	76,57	2,06	2,14	1
12	86,34	2,29	2,38	4
13	212,63	2,38	2,59	4
14	422,68	2,59	3,01	3
16	342,43	3,46	3,8	6
17	503,32	3,8	4,3	3
22	1343,62	6,2	7,54	2
23	633,84	7,54	8,17	3
27	260,99	9,29	9,55	1
31	384,24	10,73	11,12	1
35	336,52	12,2	12,54	1
39	378,14	14,03	14,41	2
40	617,12	14,41	15,03	2
42	443,14	15,69	16,13	1
45	399,9	16,81	17,21	1
47	822,56	17,61	18,43	2
49	153,82	18,65	18,81	1
50	1001,29	18,81	19,81	2
55	341,27	21,59	21,93	1
56	1179,85	21,93	23,11	5



Tramo homogéneo	Longitud (m)	Inicio (km)	Final (km)	Riesgo de siniestralidad
62	1167,45	25,71	26,87	6
63	823,88	26,87	27,7	3
65	299,89	27,98	28,28	5
68	502,23	28,65	29,15	1
69	772,44	29,15	29,92	4
72	1060,08	30,81	31,87	5
76	868,95	33,22	34,09	1
77	1520,47	34,09	35,61	2
82	274,1	37,38	37,65	4
85	374,61	38,16	38,53	3
86	282,37	38,53	38,82	5
95	1580,41	41,36	42,95	5
96	450,84	42,95	43,4	2
97	195,61	43,4	43,59	1
98	333,64	43,59	43,93	1
99	192,88	43,93	44,12	4
101	100,68	44,33	44,43	1
102	400,44	44,43	44,83	3
103	348,97	44,83	45,18	2
104	435,62	45,18	45,62	2
107	309,09	46,58	46,89	3
112	376,25	47,81	48,18	6
114	363,26	48,3	48,67	3
115	304,96	48,67	48,97	4
118	328,48	49,83	50,15	3
125	1269,06	52,31	53,58	1
130	584,42	55,14	55,72	2
131	506,27	55,72	56,23	3
132	415,21	56,23	56,64	3
133	291,98	56,64	56,93	4
134	183,19	56,93	57,12	1
135	938,02	57,12	58,06	3
139	1638,27	59,6	61,24	1
141	413,96	61,81	62,22	3
142	423,06	62,22	62,64	5
147	293,41	64,78	65,07	3
151	554,62	65,97	66,53	3
156	419,83	69,43	69,85	3
159	434,97	70,38	70,81	2
161	157,9	71,07	71,23	4
163	127,45	71,39	71,52	3





Tramo homogéneo	Longitud (m)	Inicio (km)	Final (km)	Riesgo de siniestralidad
166	355,44	72,54	72,89	3
171	1119,75	73,66	74,78	4
173	236,02	74,98	75,21	1
177	135,5	75,84	75,97	2
178	213,61	75,97	76,19	2
180	135,53	76,34	76,47	4

Nota: se omitieron los tramos homogéneos con riesgo de siniestralidad de 0.

En la Figura 122, Figura 123, Figura 124 y Figura 125 se observa a nivel de mapas la categorización del riesgo de siniestralidad por tramo homogéneo para toda la Ruta Nacional 27, incluyendo los tramos sin evidencias de riesgos a partir del análisis de choques viales. De esto se observa la presencia de segmentos que varían entre un riesgo moderado hasta riesgo alto de ocurrencia a través de toda la vía, condición que debe ser analizada en un estudio específico.

Los tramos con riesgo alto de siniestralidad se observan como segmentos en rojo en los mapas, segmentos que son evaluados de forma detallada en las siguientes secciones.

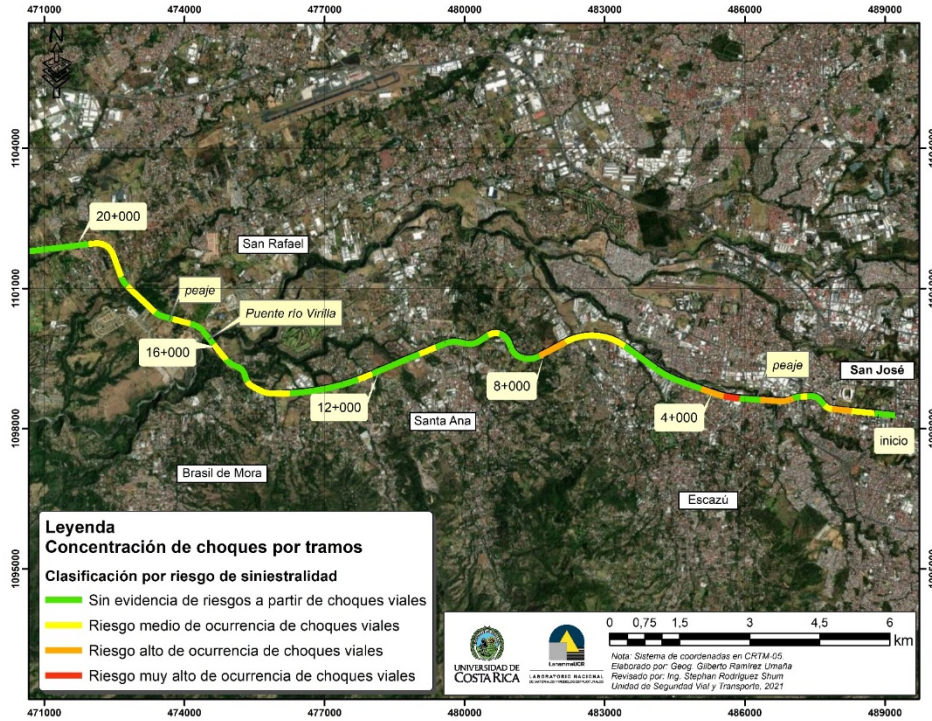


Figura 124. Riesgo de siniestralidad por tramo homogéneo: sección 0+000 – 20+000

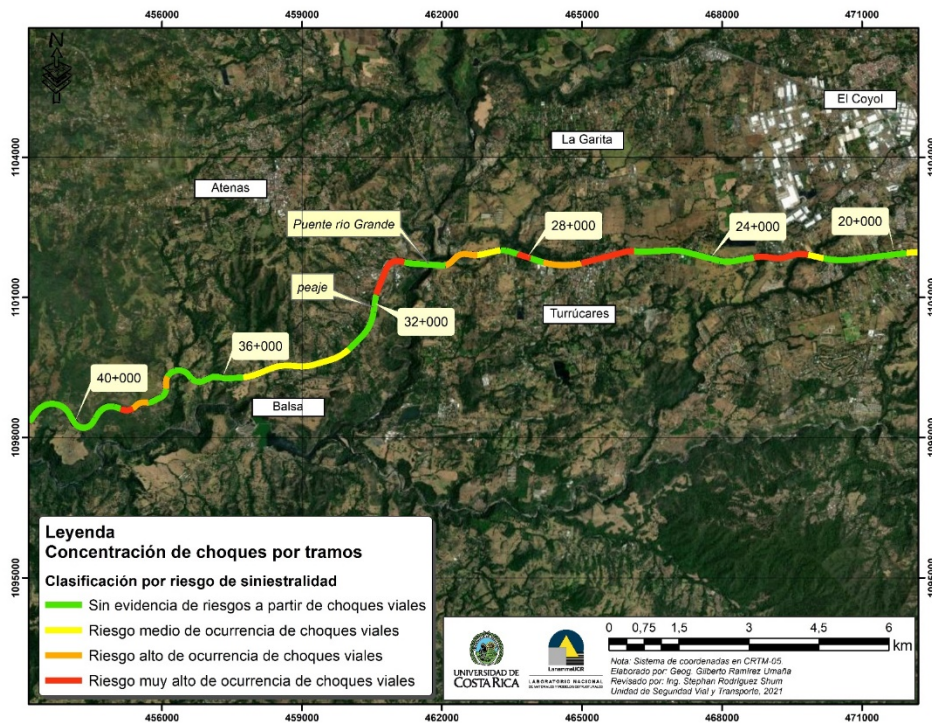


Figura 125. Riesgo de siniestralidad por tramo homogéneo: sección 20+000 – 40+000



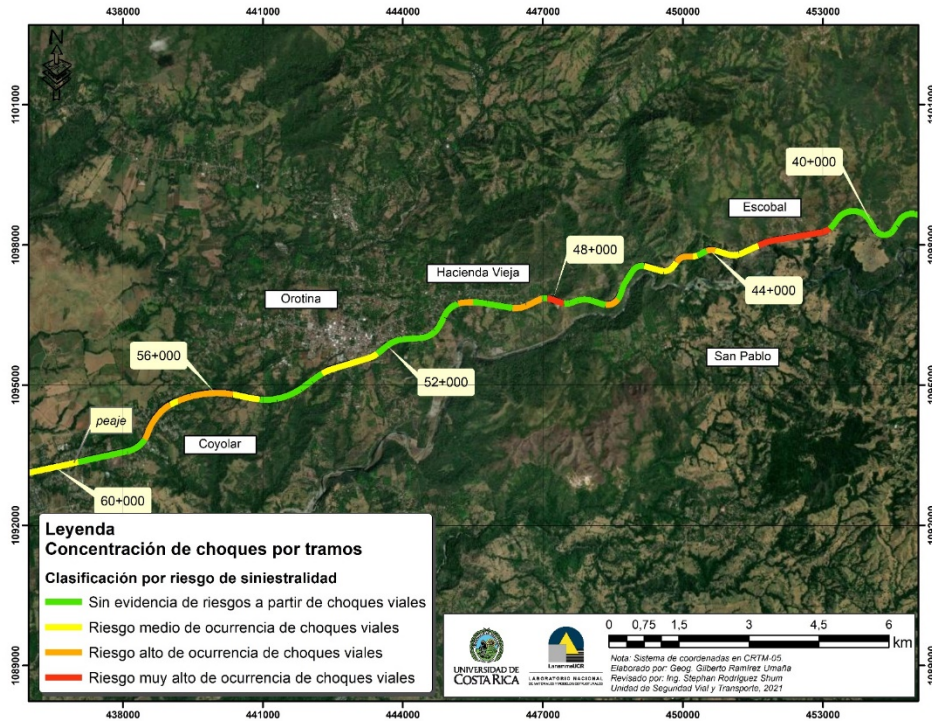


Figura 126. Riesgo de siniestralidad por tramo homogéneo: sección 40+000 – 60+000



Figura 127. Riesgo de siniestralidad por tramo homogéneo: sección 60+000 – 76+000



En función de los 9 tramos homogéneos que presentan un riesgo de siniestralidad con clasificación “Riesgo alto de ocurrencia de choques viales”, correspondiente a un valor de 5, 6 y 7, se analizaron de forma puntual los factores de riesgos asociados a la infraestructura vial que propician el aumento en la cantidad y severidad de los choques viales de forma específica, esto mediante la evaluación de los tramos con el sistema de inventario móvil Imajing.

#### 8.4.3.1 Tramo homogéneo 16: Entre estacionamiento 3+460 – 3+800

El tramo homogéneo 16 inicia en el estacionamiento 3+460 en el sector aledaño a EPA en Escazú y se extiende por 340 m hasta la aproximación del peaje de Escazú, aledaño al sector del Hotel Wyndham Garden Escazú, en el estacionamiento 3+800.

El registro de choques viales del 2016 al 2019 presentó 135 incidentes, segmentados en 1 fallecido, 6 heridos graves, 11 heridos leves y 117 con solo daños materiales. De forma complementaria, al analizar los choques por tipo, prioritariamente resalta un 51 % de ocurrencia de choques laterales y un 30 % de choques por alcance.

El tramo presenta una velocidad reglamentaria de 60 km/h y 40 km/h, sin embargo, ante la presencia de 3 carriles por sentido de aproximadamente 3,6 m de ancho, los vehículos transitan a una velocidad superior, consistente con las características geométricas de los segmentos de vía previos.

En el sector de la mediana el espaldón interno es reducido, con un ancho cercano a 0,6 m, condición que aumenta la probabilidad de colisión contra las barreras de concreto y propicia el cambio de carril en los conductores que circulen aledaño a ella. En el sector del espaldón externo, el ancho aproximado es de 1,8 m, pero posterior al espaldón se evidencia una cuneta no traspasable con una sección triangular, seguida del sistema de contención vehicular, condiciones visibles en la Figura 126.

Adicionalmente, hay una reducción en la velocidad reglamentaria en este tramo sin que los conductores perciban un cambio en la vía y en su geometría, lo cual es también un factor de riesgo causado por la infraestructura.



Figura 128. Sección transversal del tramo homogéneo 16

#### 8.4.3.2 Tramo homogéneo 56: Entre estacionamiento 21+930 – 23+110

El tramo homogéneo 56 inicia en el estacionamiento 21+930 en el sector donde inicia la Radial Coyol y se extiende por 1180 m hasta el final de la radial, en el estacionamiento 23+110.

El registro de choques viales del 2016 al 2019 presentó 62 incidentes, segmentados en 6 heridos graves, 8 heridos leves y 48 con solo daños materiales. De forma complementaria, al analizar los choques por tipo, prioritariamente resalta un 26 % de ocurrencia de choques por alcance, 21 % por salida de la vía y un 30 % de choques laterales.

El tramo presenta una velocidad reglamentaria de 80 km/h, con 2 carriles por sentido de circulación, separados por una mediana y anchos de carril de aproximadamente 3,6 m, condiciones que propician velocidades de operación altas.

El aumento en la velocidad de conducción es el resultado del cambio en la sección transversal de la vía previa al tramo homogéneo 56, donde las secciones presentan 1 carril por sentido, por lo que la troncal aledaña a la Radial Coyol es aprovechada para realizar maniobras de adelantamiento a alta velocidad.

En el sector de la mediana el espaldón interno es reducido, con un ancho cercano a 0,6 m, condición que aumenta la probabilidad de colisión contra las barreras de concreto,





en especial en el principio y final de la barrera medianera donde se ubica un terminal de concreto que ha demostrado ser un obstáculo rígido que ha propiciado choques viales de alta severidad, (ver Figura 127).

Adicionalmente, las maniobras de cambio de carril gestadas por el escaso ancho de espaldón y las maniobras de adelantamiento que se realizan en la sección, aumentan la probabilidad de que se presenten maniobras conflictivas en la troncal. Condición que aumenta ante el cambio en la cantidad de carriles al principio y final de la sección.

En la Figura 127, donde se observa la estructura tipo pórtico para las señales aéreas, el espaldón externo tiene un ancho aproximado de 1,8 m, y allí se presenta la bifurcación que da conexión a la Radial Coyal, en la cual no se cuenta con dispositivos de contención vehicular, por lo que podría aumentar la severidad de un posible choque.



Figura 129. Sección transversal del tramo homogéneo 56

#### 8.4.3.3 Tramo homogéneo 62: Entre estacionamiento 25+710 – 26+870

El tramo homogéneo 62 inicia en el estacionamiento 25+710 en el sector donde inicia la Radial Turrúcares y se extiende por 1160 m hasta el final de la radial, en el estacionamiento 26+870.

El registro de choques viales del 2016 al 2019 presentó 46 incidentes, segmentados 6 fallecidos, 8 heridos leves y 32 con solo daños materiales. De forma complementaria, al



analizar los choques por tipo, prioritariamente resalta un 50 % de ocurrencia de choques por alcance, 15 % por salida de la vía y un 15 % de choques laterales.

El tramo presenta una velocidad reglamentaria de 80 km/h, con 2 carriles por sentido de circulación, separados por una mediana y anchos de carril de aproximadamente 3,6 m, condiciones que propician velocidades de operación altas.

El aumento de velocidad por parte de los conductores es el resultado del cambio en la sección transversal de la vía previa al tramo homogéneo 62, donde las secciones presentan 1 carril por sentido, por lo que el sector de aledaño a la Radial Turrúcares es aprovechado para realiza maniobras de adelantamiento a alta velocidad.

Adicionalmente, en el sector de la mediana el espaldón interno es reducido, con un ancho cercano a 0,6 m, condición que aumenta la probabilidad de colisión contra las barreras de concreto, en especial en el principio y final de la barrera medianera donde se ubica un terminal de concreto que ha demostrado ser un obstáculo rígido que ha propiciado choques viales de alta severidad.

El sector aledaño a las bifurcaciones que conectan la troncal con la Radial Turrúcares presentan un desnivel entre la vía y la bifurcación, condición que, al no presentar un dispositivo de contención vehicular, propiciará la ocurrencia del vuelco de un vehículo en caso de circular cerca de la sección, condición presente en la Figura 128. Cabe destacar que la barrera lateral de la bifurcación, al presentar un terminal abatido con esviaje, también podría favorecer el vuelco de vehículos.



Figura 130. Sección transversal del tramo homogéneo 62

#### 8.4.3.4 Tramo homogéneo 65: Entre estacionamiento 27+980 – 28+280

El tramo homogéneo 65 inicia en el estacionamiento 27+980, al oeste de la Radial Turrúcares y se extiende por 300 m hasta el estacionamiento 28+280.

El registro de choques viales del 2016 al 2019 presentó 13 incidentes, segmentados en 2 fallecidos, 1 herido leve y 10 con solo daños materiales. De forma complementaria, al analizar los choques por tipo, prioritariamente resalta un 31 % de ocurrencia de choques por salida de vía, 15 % choques frontales y un 15 % de choques posteriores.

El tramo presenta una velocidad reglamentaria de 80 km/h, con 1 carril en sentido hacia Caldera y 2 carriles en sentido hacia San José. No presenta separación física entre ambos flujos de circulación, lo que sumado a anchos de carril de aproximadamente 3,3 m y un espaldón externo de ancho aproximado de 1,5 m, aumenta la probabilidad de ocurrencia de choques, en especial ante una geometría rectilínea que propicia el aumento en la velocidad de operación, como se observa en la Figura 129.



Figura 131. Sección transversal del tramo homogéneo 65

#### 8.4.3.5 Tramo homogéneo 72: Entre estacionamiento 30+810 – 31+870

El tramo homogéneo 72 inicia en el estacionamiento 30+810 donde inicia la Radial Atenas y se extiende por 1060 m hasta el final de la radial en el estacionamiento 31+870.

El registro de choques viales del 2016 al 2019 presentó 52 incidentes, segmentados en 4 heridos graves, 14 heridos leves y 34 con solo daños materiales. De forma complementaria, al analizar los choques por tipo, prioritariamente resalta un 25 % de ocurrencia de choques laterales, 17 % por vuelco, 17 % de choques frontales, un 17 % de choques por alcance y un 15 % de choques por salida de vía.

El tramo presenta una velocidad reglamentaria de 80 km/h, con 2 carriles por sentido de circulación separados por una mediana y anchos de carril de aproximadamente 3,6 m, condiciones que propician velocidades de operación altas.

El aumento de velocidad por parte de los conductores es el resultado del cambio en la sección transversal de la vía, esto anterior y posterior al tramo homogéneo 72, donde las secciones presentan 1 carril por sentido, por lo que la zona de la troncal que da conexión a la Radial Atenas es utilizada para realizar maniobras de adelantamiento a alta velocidad.

Adicionalmente, el espaldón interno es reducido, con un ancho cercano a 0,6 m, condición que aumenta la probabilidad de colisión contra las barreras de concreto, en especial en el principio y final de la barrera medianera donde se ubica un terminal de





concreto que ha demostrado ser un obstáculo rígido que ha propiciado choques viales de alta severidad.

En el sector del espaldón externo, el ancho aproximado es de 1,6 m, insuficiente para que un vehículo salga de la vía completamente y pueda detenerse de forma segura, como se observa en la Figura 130.

Adicionalmente, análogo a las bifurcaciones en del tramo homogéneo 62, ambos márgenes presentan bifurcaciones que dan conexión entre la troncal y la Radial Turrúcares, sin embargo, el desnivel generado por la geometría y la ausencia de un sistema de contención vehicular, genera condiciones geométricas que propician el vuelco de vehículos al circular sobre la sección.



Figura 132. Sección transversal del tramo homogéneo 72

#### 8.4.3.6 Tramo homogéneo 86: Entre estacionamiento 38+530 – 38+820

El tramo homogéneo 86 inicia en el estacionamiento 38+530 y se extiende por 290 m hasta el estacionamiento 38+820, sector al este de la Radial Escobal.

El registro de choques viales del 2016 al 2019 presentó 15 incidentes, segmentados en 1 fallecido, 1 herido grave, 5 heridos leves y 8 con solo daños materiales. De forma complementaria, al analizar los choques por tipo, prioritariamente resalta un 27 % de ocurrencia de choques por alcance, 27 % de choques frontales, 13 % por salida de la vía y un 13 % por volcadura.



El tramo presenta una velocidad reglamentaria de 70 km/h para el flujo en sentido hacia San José y de 80 km/h para el flujo en sentido hacia Caldera, sin embargo, ante la presencia de 3 carriles en total para toda la vía, el tramo propicia la circulación a alta velocidad y maniobras de adelantamiento.

En el sector del espaldón externo, el ancho aproximado es de 1,8 m, sin embargo, este es insuficiente para que un vehículo se detenga de forma segura fuera de la vía. Adicionalmente, posterior al espaldón se evidencian taludes de pendiente positiva y negativa, barreras de contención sin las condiciones de zona libre apropiadas para contener y redireccionar un vehículo de forma segura y cunetas con sección transversal triangular no traspasable, condiciones visibles en la Figura 131.



Figura 133. Sección transversal del tramo homogéneo 86

#### 8.4.3.7 Tramo homogéneo 95: Entre estacionamiento 41+360 – 42+950

El tramo homogéneo 95 inicia en el estacionamiento 41+360, donde inicia la Radial Escobal, y se extiende por 1590 m hasta el final de la radial, en el estacionamiento 42+950.

El registro de choques viales del 2016 al 2019 presentó 42 incidentes, segmentados en 1 fallecido, 2 heridos graves, 6 heridos leves y 33 con solo daños materiales. De forma complementaria, al analizar los choques por tipo, prioritariamente resalta un 21 % de ocurrencia de choques por alcance, 12 % de choques frontales, 10 % de choques laterales, 10 % por salida de la vía y un 7 % por vuelco.



El tramo presenta una velocidad reglamentaria de 80 km/h, con 2 carriles por sentido de circulación, separados por una mediana y anchos de carril de aproximadamente 3,6 m, condiciones que propician velocidades de operación altas.

El aumento de velocidad por parte de los conductores es el resultado del cambio en la sección transversal de la vía previa al tramo homogéneo 95, donde las secciones presentan 1 carril por sentido, por lo que el sector de aledaño a la Radial Escobal es aprovechado para realiza maniobras de adelantamiento a alta velocidad.

El espaldón interno es reducido, con un ancho cercano a 0,6 m, condición que aumenta la probabilidad de colisión contra las barreras de concreto, en especial en el principio y final de la barrera medianera donde se ubica un terminal de concreto que ha demostrado ser un obstáculo rígido que ha propiciado choques viales de alta severidad.

Adicionalmente, análogo a las bifurcaciones en del tramo homogéneo 62 y 72, ambos márgenes presentan bifurcaciones que dan conexión entre la troncal y la Radial Escobal, sin embargo, el desnivel generado por la geometría y la ausencia de un sistema de contención vehicular, genera condiciones geométricas que propician el vuelco de vehículos al circular sobre la sección.



Figura 134. Sección transversal del tramo homogéneo 95



#### 8.4.3.8 Tramo homogéneo 112: Entre estacionamiento 47+810 – 48+180

El tramo homogéneo 112 inicia en el estacionamiento 47+810 y se extiende por 370 m sobre las aproximaciones y el puente sobre el río Salitral, hasta el estacionamiento 48+180.

El registro de choques viales del 2016 al 2019 presentó 12 incidentes, segmentados en 3 fallecidos y 9 con solo daños materiales. De forma complementaria, al analizar los choques por tipo, prioritariamente resalta un 25 % de ocurrencia de choques por alcance, 17 % de choques frontales, 17 % de choques posteriores y un 17 % de choques laterales.

El tramo presenta una velocidad reglamentaria de 80 km/h, una geometría predominantemente rectilínea y 1 carril por sentido de circulación de aproximadamente 3,6 m de ancho. Condiciones que propician la circulación a altas velocidades de operación.

En el sector del espaldón externo fuera del puente, el ancho aproximado es de 1,8 m, pero sobre el puente el espaldón presenta anchos que rondan 1 m, valores insuficientes para que un vehículo se posicione completamente fuera del carril de circulación ante un imprevisto.

Cabe destacar que algunos tramos de aproximaciones a los puentes no cuentan con sistemas de contención vehicular apropiados con sus respectivas transiciones. Como se observa en la Figura 133, la aproximación del margen derecho, en sentido hacia Caldera, presenta un elemento de concreto que recibiría a un vehículo de forma abrupta en caso de colisionarlo, condición que ante la utilización de un sistema de contención vehicular, permitiría reducir la severidad del evento.





Figura 135. Sección transversal del tramo homogéneo 112

#### 8.4.3.9 Tramo homogéneo 142: Entre estacionamiento 62+220 – 62+640

El tramo homogéneo 142 inicia en el estacionamiento 62+220 y se extiende por 420 m hasta el estacionamiento 62+640.

El registro de choques viales del 2016 al 2019 presentó 11 incidentes, segmentados en 1 fallecido, 2 heridos graves, 2 heridos leves y 6 con solo daños materiales. De forma complementaria, al analizar los choques por tipo, prioritariamente resalta un 36 % de choques por salida de la vía y un 27 % de choques frontales.

El tramo presenta una velocidad reglamentaria de 80 km/h, con un alineamiento predominantemente rectilíneo, con 1 carril por sentido de circulación de aproximadamente 3,6 m de ancho. Adicionalmente, no cuenta con división física entre los flujos de circulación, presenta espaldones externos de 1,8 m de ancho y cunetas no traspasables con sección triangular, como se observa en la Figura 134.



Figura 136. Sección transversal del tramo homogéneo 142

#### 8.4.3.10 Posibilidades de mejora

Como se evidenció en la evaluación de cada uno de los tramos homogéneos, las deficiencias son repetitivas y esto responde a una concepción deficiente del proyecto desde la recolección de información básica hasta las consideraciones de diseño, por lo que de forma general el proyecto presenta deficiencias consistentes a lo largo de la vía.

Ante esta particularidad, se procede a identificar posibilidades de mejora a partir de las deficiencias identificadas en los tramos homogéneos para el corto y largo plazo, tomando en consideración el largo plazo como el escenario en el que se valora la ampliación de la vía. Adicionalmente, se presentan recomendaciones adicionales en la Sección 7.5 Observaciones complementarias.

#### Corto plazo

- Implementar medidas efectivas que propicien la reducción de velocidad en las aproximaciones a los peajes, en la sección de la troncal donde se da la conexión a las radiales.
- Implementar medidas que alerten a los conductores ante la salida de vía, como lo es el uso de bandas sonoras en el espaldón externo.



- Colocar señales o dispositivos tipo delineadores previo a las bifurcaciones de accesos a las radiales e inicio y final de las barreras medianeras para alertar a los usuarios ante la presencia de estos riesgos.
- Desincentivar las maniobras de adelantamiento e invasión del carril opuesto de circulación con dispositivos como delineadores, esto para las zonas de mayor ocurrencia de choques viales.

### Largo plazo

- Como mínimo, apearse en materia de diseño geométrico al Manual centroamericano de normas para el diseño geométrico de carreteras de la SIECA (2011); específicamente, pero no de forma única, en temas asociados a anchos de espaldón y longitudes de carriles de aceleración y desaceleración.
- Mantener consistencia en el diseño geométrico de la vía.
- Elaborar estudios integrales de movilidad para un adecuado diseño de las facilidades peatonales y ciclistas especialmente.
- Implementar análisis de márgenes y diseños de sistemas de contención vehicular.
- Implementar cunetas de sección transversal segura o traspasables mediante rejillas o un rediseño de la sección.
- Separar de forma física ambos flujos de circulación a lo largo de toda la troncal.

## **8.5 Observaciones complementarias**

En aras de complementar oportunidades de mejora del proyecto existente y exponerlas para su consideración en la ampliación de la vía, se plantean observaciones generales del proyecto, estas en función de la presente evaluación y basadas en las observaciones planteadas en el informe INF-PI-UGERVN-12-2020, correspondiente a la Evaluación del proyecto San José – Caldera, Ruta Nacional 27 del periodo 2019 - 2020.

### *8.5.1 Movilidad segura e inclusiva*

Las dinámicas de movilidad de los distintos usuarios deben atenderse de formas que permitan identificar sus necesidades específicas, por lo que se segmentan las observaciones según usuarios motorizados y no motorizados. Sin embargo, es importante entender la movilidad de forma integral y encontrar el punto que satisfice las necesidades de todos los usuarios, sin minimizar las de los usuarios más vulnerables.

#### *8.5.1.1 Usuarios vulnerables (no motorizados)*

El diseño de la actual Ruta Nacional 27 sugiere un entorno vial para el desplazamiento de vehículos automotores, de forma predominante; sin embargo, a lo largo de la ruta hay diferentes entornos urbanos y rurales, los cuales generan una necesidad de conectar con lados opuestos de esta vía principal. Es por ello que se requiere de estudios de movilidad de usuarios no motorizados para entender estas necesidades de



desplazamiento y su interacción con la troncal principal de la carretera y proveer infraestructura y facilidades seguras para cruzar la vía y acceder al servicio de transporte público.

Los requerimientos de los usuarios no motorizados suelen omitirse en los estudios viales, ya que se tiene la concepción de que una carretera es de uso único de los vehículos automotores, lo que propicia conflictos entre los distintos usuarios.

Para evitar la invisibilización de los usuarios no motorizados, se deben realizar estudios de movilidad integrales, que contemplen a los peatones, ciclistas y otros usuarios no motorizados, donde se consideren parámetros como las trayectorias, los orígenes y destinos, características socioeconómicas y de género, percepción, entre otros parámetros que permitirán una mejor concepción del entorno. De forma análoga, para entender mejor la necesidad de estos usuarios, es de vital importancia la participación ciudadana, de forma que los usuarios identifiquen sus necesidades propias y enriquezcan las propuestas.

El proyecto, en términos generales canaliza a los usuarios no motorizados mediante puentes peatonales en diversos sectores de la vía, estos según Montero (2019) presentan algunas de las siguientes deficiencias:

- Ausencia de sistemas de contención vehicular laterales en accesos a puente
- Ausencia de malla de protección
- Ausencia de conexión a infraestructura ciclista o de transporte público
- Ausencia de iluminación en accesos

En diversos sectores, se evidenció la presencia de bahías de autobús en ambos márgenes de la vía, pero no se presentan condiciones seguras desde el punto de vista vial o social para conectar las trayectorias de los usuarios, por lo que se evidencia falencias en esta área.

Estas deficiencias representan riesgos para los usuarios no motorizados, tanto a nivel de seguridad vial como de seguridad social, por lo que se insta a realizar los análisis necesarios para proveer entornos seguros para los usuarios no motorizados.

#### 8.5.1.2 Usuarios motorizados

Para estimar con mayor certeza la capacidad de la vía para los usuarios motorizados, es indispensable el uso de modelos de demanda de transporte urbano actualizados que permitan identificar los patrones de movilidad y los flujos de los usuarios.

Posterior a la estimación de la demanda de usuarios motorizados, es necesaria la simulación del tránsito, con un programa que permita evaluar las condiciones del proyecto, como peajes, bahías de autobús, interacción de distintos tipos de usuarios, condiciones de congestión, radiales con rotondas, distintos niveles operativos de vías (autopista – entorno urbano), entre otros.





En caso necesario, la simulación debería alcanzar un nivel microscópico, modelo que permite analizar la interacción entre usuarios de forma detallada.

Estos análisis permitirán una mejor concepción de la vía, identificar la necesidad real de demanda, considerar la demanda latente y definir una geometría suficiente para operar con medidas de desempeño esperados de una autopista, sin requerir implementar medidas paliativas como los carriles reversibles, lo cual genera altos riesgos a nivel de seguridad vial, o alcanzar su capacidad en corto plazo.

### 8.5.1.3 Transporte público

Adicionalmente a los tramos de mayor concentración de atropellos, se observó la ubicación de las bahías de autobús en la troncal principal de la R.N. 27 con respecto a las zonas residenciales. A manera de ejemplo, el caso del poblado de Uvita, tal como se observa en la Figura 135 y Figura 136.

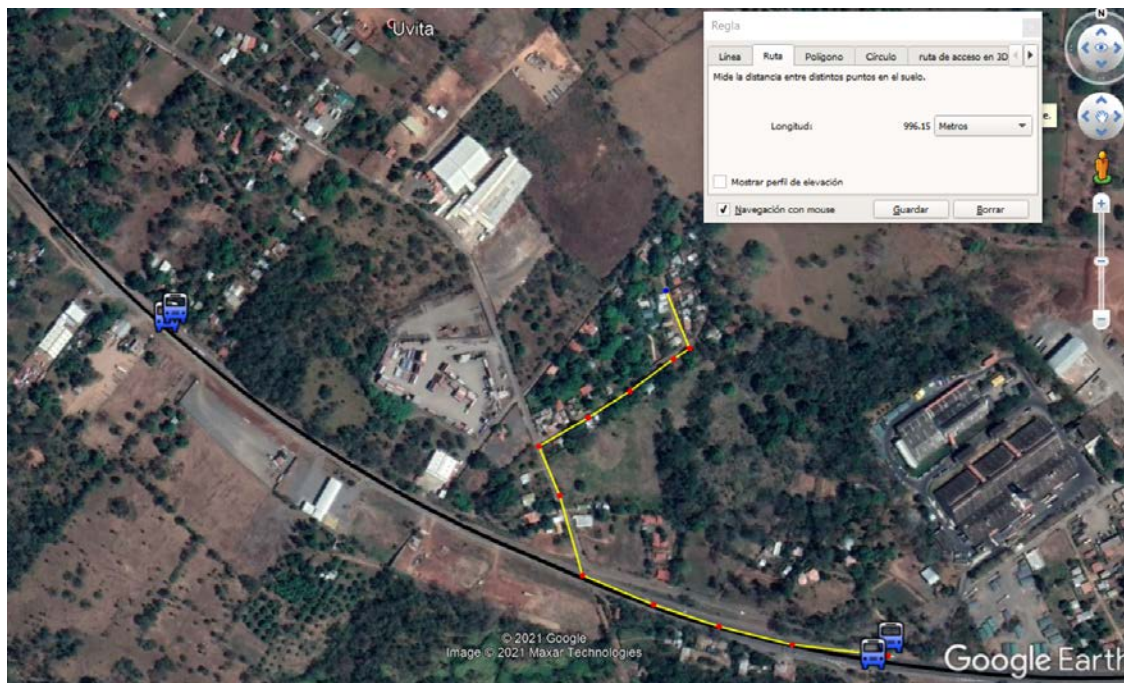


Figura 137. Ejemplo de recorrido de vecinos del poblado de Uvita, sector este

La Figura 135 muestra un ejemplo de la distancia de aproximadamente 1 km que una persona que vive en el sector este de Uvita debe de caminar para poder acceder a la parada del autobús. Esto fue confirmado a través de conversaciones con vecinos de la zona que estaban esperando el autobús, como se observa en la Figura 136. Estas personas deben cruzar la vía principal y caminar por el espaldón al menos 500 metros, ya que no hay aceras (más allá del área que abarca la bahía de autobuses) ni calles marginales que canalicen los flujos locales. En muchos casos, en los tramos divididos de la carretera, los vecinos confirmaron que es común que las personas tengan que pasar por encima de la barrera central de concreto para cruzar, buscando siempre la menor distancia de caminata.



Figura 138. Vecinos de Uvita y otros poblados cercanos, esperando autobús

### 8.5.2 Seguridad vial

Tanto para el proyecto vigente, como para su futura ampliación, es necesario ampliar y detallar las necesidades en materia de seguridad vial del proyecto, en especial, ante lo limitado que fue su alcance en el Cartel de licitación (CNC, 2000a) y Contrato de concesión (CNC, 2000b).

Aparte de referirse a la señalización vertical y demarcación horizontal de forma detallada, la *Sección 2.13.4.8. Proyecto de seguridad vial del Contrato de concesión* y *Sección 2.3.2.1.9. Proyecto de seguridad vial del Cartel de licitación*, especifica:

El proyecto de seguridad vial también deberá establecer la necesidad de dispositivos que permitan dar seguridad al tránsito, tales como el uso de valla en la medianera para evitar el encandilamiento de los conductores, vallas peatonales y cierres de accesos para evitar el cruce de peatones y de animales hacia la vía principal, elementos de contención, amojonamiento, defensas New Jersey o similar, bordes alertadores, etc. Todo lo anterior, tomando en cuenta los estándares internacionales en lo referente a seguridad vial. (CNC, 2000ab)

A nivel de cartel y contrato se evidenció la ausencia de especificidad en cuanto a los estándares internacionales necesarios para la selección de medidas que brinden seguridad a la vía y el diseño de las mismas, por lo que, ante la posibilidad de ampliación de la vía,



es recomendable actualizar la normativa de referencia y especificar documentos nacionales e internacionales específicos. A manera de ejemplo, se enlistan algunos documentos que podrán ser de ayuda para esta labor, pero se aclara no es una lista extensiva o completa de la normativa que debe regir al proyecto:

- Manual centroamericano de normas para el diseño geométrico de carreteras con enfoque de gestión de riesgo y seguridad vial (SIECA, 2011).
- Manual centroamericano de dispositivos uniformes para el control del tránsito (SIECA, 2014).
- Guía para el desarrollo de proyectos de infraestructura desde la óptica de la seguridad vial (Valverde, 2010).
- Manual SCV: Guía para el análisis y diseño de seguridad vial de márgenes de carreteras (Valverde, 2011).

Adicionalmente, es importante mejorar el registro de datos de choques viales, de preferencia, bajo los mismos estándares que el Consejo de Seguridad Vial (COSEVI) utiliza, ya que, al procesar la información de choques viales suministrados por el Consejo Nacional de Concesiones, se evidenciaron las siguientes deficiencias:

- Categoría de tipos de choques que no coinciden con las categorías establecidas por el COSEVI, por lo que no es viable comparar las estadísticas.
- Categorías asignadas de forma arbitraria: al revisar la descripción del evento y la categoría asignada, no es clara la diferencia entre colisión por alcance, colisión triple por alcance y colisión posterior.
- Descripciones poco informativas: al no contar con un registro estándar separado según el tipo de información que debe recopilarse en cada evento, la descripción de cada siniestro vial no es consistente en cantidad ni calidad de la información, ya que su contenido queda a criterio del personal a cargo del registro.

Sumado a la necesidad de mejorar la normativa asociada al proyecto y las prácticas de gestión de datos de choques viales, es importante que se especifiquen procedimientos de análisis de los datos de choques viales que permitan identificar los sitios en los que sean más recurrentes los siniestros viales.

De forma complementaria y proactiva, se recomienda especificar procedimientos de evaluación periódica en la seguridad del proyecto, esto mediante evaluaciones de seguridad vial que permitan identificar posibilidades de mejora en el proyecto, previo a que ocurran choques viales. Adicionalmente, metodologías como el análisis de conflictos permiten identificar zonas conflictivas para los usuarios, sin que estén registradas en boletas de choques viales, por lo que amplía las posibilidades de análisis para resolver las deficiencias en materia de seguridad vial.





Cabe destacar que tanto en el cartel (CNC, 2000a) como en el contrato (CNC, 2000b) del proyecto, se detalla ampliamente el procedimiento para estimar el “Premio por seguridad vial”, sin embargo, este premio no especifica una sanción u obligaciones que deba realizar la empresa concesionaria ante el escenario opuesto, en el que la vía presenta condiciones deficientes en materia de seguridad vial, como las presenta en la actualidad.

#### 8.5.2.1 *Sistemas de contención vehicular*

Las deficiencias en el diseño y construcción de los sistemas de contención vehicular de la Ruta Nacional 27 han sido alertados de forma recurrente en los informes LM-PI-USVT-017-019 y INF-PI-UGERVN-12-2020, así como en el oficio LM-IC-D-0946-2020, estos a manera de resumen detallan deficiencias en:

- Barreras de contención aisladas
- Terminales de barrera mediana en concreto
- Placas metálicas en barrera mediana
- Elementos de concreto en aproximaciones a peajes
- Barreras metálicas laterales con bordillo de concreto
- Transiciones entre sistemas de contención
- Anclajes entre barreras de concreto consecutivas y a la superficie de la vía

Ante la última deficiencia, se resaltaron los choques ocurridos en el sector de Escazú sobre la Ruta Nacional 27 durante el año 2020, donde las deficiencias en el anclaje de las barreras de concreto consecutivas y a la superficie de la vía aumentaron la severidad de los choques, condición presente en la Figura 137.

Cabe destacar que los eventos evidenciados en la Figura 137 podrían presentarse en otros segmentos de la vía, ya que no se tiene certeza de la correcta instalación de los dispositivos de contención vehicular.



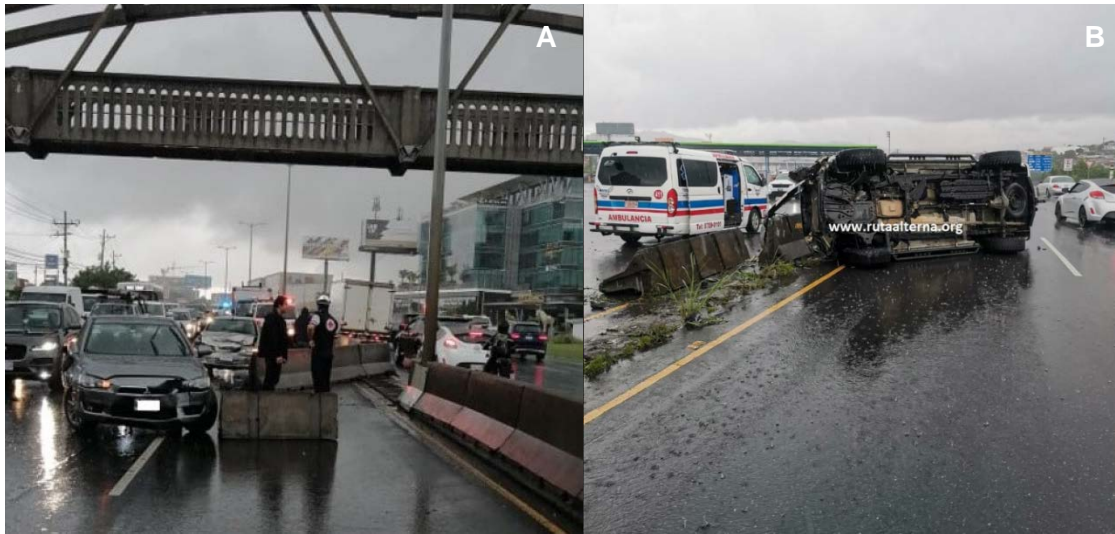


Figura 139. Choques viales contra sistemas de contención vehicular de concreto deficiente  
Nota: Fotografía A tomada de <https://www.crhoy.com/nacionales/se-llevan-hasta-la-barrera-en-choque-multiple-en-la-ruta-27/>, CRHoy (2020) y fotografía B tomada de <https://www.facebook.com/Ruta-Alternativa-149642631716218>, Ruta Alternativa (2020).

### 8.5.3 Geometría

A nivel geométrico se repiten las mismas observaciones presentadas en el informe INF-PI-UGERVN-12-2020, correspondiente a la Evaluación del proyecto San José – Caldera, Ruta Nacional 27 del periodo 2019 – 2020. En este informe se evidenciaron deficiencias en la ubicación de bahías de autobús, el escaso espaldón y las distancias reducidas de carriles de aceleración y desaceleración. De forma complementaria, la presencia de cunetas con sección transversal triangular y la ausencia de una mayor consistencia en la sección transversal propician la ocurrencia de choques viales.

Adicionalmente, se presentan accesos a la vía principal que se realizan de forma directa, condición que se observa en la Figura 138, donde se evidencia un vehículo aledaño al puente sobre el río Caraña, en un acceso sin carril de aceleración. Esta condición propicia el ingreso y salida de vehículos a la vía, sin medida alguna de seguridad, donde el ángulo de las maniobras y los diferenciales de velocidad propician una alta severidad en los posibles choques viales.

En una vía con las condiciones de velocidad presentes en la Ruta Nacional 27, es inadmisibles la presencia de accesos no canalizados, por lo que deben clausurarse los accesos hasta que se pueda proveer de condiciones seguras para su operación.



Figura 140. Accesos inseguros a Ruta Nacional 27, aldeaño al puente sobre el río Caraña



## 9 CONCLUSIONES

### 9.1 Conclusión General

El presente es un informe técnico de evaluación, reiteramos, que se enmarca dentro de las funciones de ente fiscalizador que la Ley le confiere al *LanammeUCR*.

El análisis integral del pavimento en la troncal principal, se realiza considerando la influencia de una serie de aspectos que afectan en algún grado la calidad general del proyecto. Se debe tomar en consideración la calidad de los materiales utilizados, es decir, el diseño de los espesores de las distintas capas del pavimento, el nivel de servicio que el pavimento brinda a los usuarios en términos de confort, costos de operación vehicular, seguridad vial y por último, el nivel de deterioro superficial. Todos estos aspectos no son independientes entre sí, dado que existe una estrecha correlación entre cada uno de ellos y deben ser ponderados dentro del ámbito de un proyecto en concesión de obra pública.

A partir de la evaluación realizada, se observó que de manera general, la Ruta 27 San José - Caldera presenta una muy buena capacidad estructural en casi toda su longitud. Sin embargo, la condición funcional (que está relacionada directamente con el confort y los costos de operación) indica que aproximadamente un 37% de la longitud del proyecto, se encuentra en la categoría “Buena” y el 63% restante se clasifica como “Regular”, lo que representa un incremento de esta última categoría en casi un 23% con relación a la evaluación anterior (periodo 2019-2020).

La prueba con el medidor de agarre superficial “*GripTester*”, usado a nivel internacional para medir la resistencia al deslizamiento de una superficie de ruedo en carretera, dio resultados que señalan tramos de la vía con valores ubicados en la categoría de “Muy Deslizante” (8 % de la longitud en el sentido San José - Caldera y un 10 % en el sentido contrario); y en el sentido Caldera – San José, un 17 % se encuentra en la categoría de “Deslizante”. Por su parte, la prueba con el “*MuMeter*”<sup>7</sup> dio como resultado que un 8 % y 16 % de la longitud de la troncal principal, en cada sentido de circulación, se encuentra por fuera de los valores estipulados en el contrato.

Con los resultados de las pruebas de capacidad estructural, funcional y de agarre superficial, se calculan las Notas de Calidad para la ruta, así como las estrategias de intervención según la nota obtenida en cada tramo. Si bien las notas obtenidas califican la ruta en buenas condiciones (al ser las Q1 y Q2 las que abarcan la mayor parte de la longitud del proyecto), al comparar los resultados de esta última campaña contra campañas anteriores, es posible determinar una tendencia al deterioro. Esto especialmente es claro al

<sup>7</sup> El LanammeUCR, en el informe *INF-PI-UGERVN-05-2016* consigna que las especificaciones presentes en el *Contrato de Concesión de Obra Pública de la Carretera San José – Caldera*, en el apartado relativo a la medición de la resistencia al *resbalamiento* como se denomina ahí, no son apropiadas desde el punto de vista técnico, debido al uso original del *MuMeter* para realizar esta medición en pistas de aterrizaje, y que no es posible adaptarlo a la medición de carreteras, debido a que la configuración física de las ruedas no coinciden con las huellas de los vehículos.



analizar las estrategias de intervención, las cuales para esta evaluación son más severas en comparación con las obtenidas en evaluaciones anteriores.

En contraste con la troncal principal, 3 de las 4 radiales del proyecto (Coyol, Atenas y Turrúcares) muestran valores de deflectometría, perfil y agarre superficial principalmente en rangos moderados a malos, lo cual se refleja en Notas de Calidad altas (Q7 a Q9, R1 a R3), y estrategias de intervención severas para recuperar condiciones normales. Sólo la radial de Escobal se encuentra en buen estado general.

En el tema de deterioros superficiales, se sigue la tendencia marcada desde la campaña de evaluación 2018-2019, con un aumento de los deterioros tipo área y disminuye la cantidad de kilómetros con grietas, en comparación con evaluaciones anteriores. Para el primer tipo, los deterioros más comunes son piel de lagarto, el bache y la exudación; mientras que en el segundo tipo dominan las grietas longitudinales y transversales. Es de recordar que el cartel de licitación para este proyecto, prohíbe del todo la existencia de la exudación, deterioro que ha sido relacionado a nivel mundial con bajos niveles de agarre superficial.

A partir de investigaciones del *LanammeUCR* en modelos de deterioros para rutas nacionales, se pudieron crear los modelos en esta evaluación. Con ello y la calibración que se hará año con año, cuando nuevos valores de *IRI* sean obtenidos, será posible evaluar las políticas de mantenimiento que se están aplicando a la ruta. Con los resultados obtenidos este año, se puede observar que los tramos analizados superan los 15 años antes de cumplir un nivel de serviciabilidad inferior a un *PSI* igual a 3.

En el tema geológico – geotécnico, son muchos los problemas que afectan esta ruta. La mayor parte de ellos se encuentran en la zona montañosa del *Tramo 2*, e históricamente han venido presentando problemas desde la misma apertura de la ruta, en el año 2010. Estos sitios han sido evaluados por el *LanammeUCR* en varios informes de años anteriores. De no aplicarse las recomendaciones, es de esperar que presenten problemas con los fenómenos extraordinarios de lluvias que cada vez más, afectan el territorio.

A nivel de movilidad y seguridad vial se evidenciaron deficiencias generalizadas tanto en la vía principal, como en sus radiales. Estas presentan posibilidades de mejora en el diseño geométrico, señalamiento vial, diseño de los márgenes de carretera, sistemas de contención vehicular, conectividad entre centros atractores y generadores de viajes peatonales, infraestructura peatonal en general e infraestructura destinada al transporte público.

De forma complementaria se logró evaluar el estado de la demarcación horizontal, señalamiento vertical y sistemas de contención vehicular con algún grado de deficiencia, lo cual permitirá una comparación histórica a partir de las futuras evaluaciones anuales del proyecto. También, al recopilar los registros de choques viales históricos sobre la Ruta Nacional 27, se identificaron y evaluaron los sitios con mayor ocurrencia de atropellos y ocurrencia de choques viales, información que permitió identificar los principales factores de riesgo de la infraestructura vial para la ocurrencia de los eventos.





Por último, en materia de seguridad vial, el proyecto cuenta con deficiencias generalizadas tanto en la vía principal, como en sus radiales. Las deficiencias presentan posibilidades de mejoras en el diseño geométrico, señalamiento vial y el diseño de los márgenes de carretera y los sistemas de contención vehicular.



## 9.2 Conclusiones Específicas

### 9.2.1 Sobre acceso a la información técnica del corredor vial ruta 27.

De acuerdo a lo consignado en la sección 2 LIMITACIONES EN EL PROCESO DE EVALUACIÓN de este mismo informe, se concluye que la falta de acceso a la información solicitada limita la capacidad de dar seguimiento a las labores de intervención del hundimiento en el kilómetro 44+500. Esta situación dificulta desarrollar una adecuada labor de evaluación por parte del LanammeUCR, evaluación que es fundamental para velar por la eficiencia de la inversión pública y la calidad de este corredor vial, administrado bajo la modalidad de concesión de obra pública.

La falta de respuesta a las reiteradas solicitudes impide realizar una adecuada evaluación con base en fundamentos técnicos y objetivos, que le permita velar tanto por el cumplimiento de las obligaciones contractuales de la Sociedad Concesionaria, como de su responsabilidad como representante del Estado para el adecuado uso del recurso público.

### 9.2.2 Sobre la condición estructural

Los resultados obtenidos con el *Deflectómetro de Impacto*, muestran que el proyecto mantiene una buena condición estructural en gran parte de la longitud del troncal principal del proyecto. En comparación con la evaluación de años anteriores, se detecta la tendencia al deterioro en este parámetro, dado que el porcentaje obtenido de la longitud con deflexiones bajas disminuyó un 5% aproximadamente.

En contraste, las radiales presentan condiciones donde predominan los rangos de deflexiones altas y muy altas en buena parte de su longitud, lo que indica condiciones estructurales malas. Sólo la radial de Escobal presenta el 100% de su longitud en ambos sentidos, en condiciones buenas.

### 9.2.3 Sobre la condición funcional

En este parámetro, alrededor de un 64% de la longitud de la troncal principal presenta regularidades en el rango de Regular, el restante 36% corresponde a una condición Buena. Sabiendo la relación existente entre valores altos de IRI con costos de operación, es importante establecer una política para reducir este porcentaje, sobre todo cuando es posible ver una clara tendencia al deterioro (aumento del porcentaje de longitud en el rango regular de IRI) desde la campaña de evaluación 2015-2016, con una leve disminución en el año 2019.

Con respecto a las radiales, el rango de *IRI* predominante es el Regular, con porcentajes promedio en el orden de 55% de la longitud de cada radial en esta categoría.

### 9.2.4 Sobre la resistencia al deslizamiento

En el sentido San José – Caldera presenta aproximadamente un 65% entre En el sentido San José – Caldera presenta aproximadamente un 17 % entre condición Muy Deslizante y Deslizante según los datos obtenidos con el GripTester, lo que se puede relacionar con niveles bajos de seguridad vial al momento de transitar los usuarios por la



superficie de la carretera. El sentido Caldera – San José presenta en términos generales una mejor condición, con un porcentaje aproximado de 27 % entre las condiciones *Muy deslizante* y *Deslizante*.

En lo que respecta a los datos obtenidos con el *MuMeter*, alrededor del 8 % y 16 % de la longitud de la ruta en cada sentido de circulación, presenta valores fuera de los rangos estipulados en el contrato.

En comparación con las campañas anteriores del periodo 2018 al 2020, los valores obtenidos con el *Grip Tester* han experimentado una disminución en relación con los valores que se clasifican como *Muy deslizante* y *Deslizantes* en ambos sentidos de circulación. En el sentido San José – Caldera, desde el año 2013, no se habían registrado valores en la categoría *No deslizante*, condición que para el 2020 se alcanza en un 2,60 % de la vía.

Queda demostrado con ambos métodos que la ruta muestra un grado importante de incumplimiento en este parámetro, a pesar de la reducción en las clasificaciones *Muy deslizante* y *Deslizante*, se debe aspirar a contar con un porcentaje de vía predominantemente en la categoría *No deslizante*.

#### 9.2.5 Sobre los deterioros superficiales de la mezcla asfáltica

Gracias a la información obtenida con el *Equipo de Imágenes*, fue posible realizar una evaluación detallada de la totalidad de los deterioros superficiales por medio del *Imaging* en las radiales y la troncal principal. La evaluación de los años 2015 – 2018, indicó un aumento importante en el área con deterioros; con los resultados de la presente evaluación (2019-2020).

En las radiales, el deterioro predominante es el tipo *piel de lagarto*, seguido en menor medida por la *exudación* y los *agrietamientos*.

#### 9.2.6 Sobre las notas de calidad y las estrategias de intervención

Para la troncal principal, las notas de calidad predominantes son Q1 y Q2, con porcentajes bajos para la nota Q5. Esto en general refuerza el concepto de que el proyecto presenta una buena condición estructural y funcional, en un porcentaje importante de su longitud. Sin embargo, al comparar las notas obtenidas en campañas de evaluación anteriores, tanto por distribución como por la aparición de nuevas notas (tramos con notas Q6 y Q8), lo que muestra una tendencia general hacia el deterioro. Lo anterior, se refuerza cuando se determinan las estrategias de conservación: para estas últimas campañas, los resultados obtenidos indican estrategias cada vez más severas, con el fin de devolver a la superficie de ruedo las condiciones normales para un proyecto de este tipo.

En las radiales, sólo la de Escobal presenta notas buenas Q1 y Q2. En las demás radiales, se dan porcentajes importantes de tramos con notas Q7 a Q9, y R1 a R3, lo que confirma lo expresado en secciones anteriores: en general, las radiales presentan



estándares muy por debajo de los dados a la troncal principal, al punto que muchos tramos califican para reconstrucción.

### 9.2.7 *Sobre los Modelos de Deterioro*

Con la ruta dividida en tramos homogéneos para cada uno de los sentidos y con el modelo de *PSI* desarrollado por el *LanammeUCR* para Costa Rica, el cual utilizada como información de entrada los datos calculados de *IRI* con el perfilómetro láser, se crearon los modelos de deterioro para la troncal principal. Para esta evaluación se obtuvo que los tramos uno y dos en el sentido Caldera – San José, presentarían un valor de *PSI* inferior a 3 en los próximos 6 y 5 años respectivamente si se continúan aplicando las estrategias de mantenimiento que hasta ahora se han venido aplicando, lo que implicaría que para los años 2025 y 2026 debiera de realizarse labores de rehabilitación mayor para que estos tramos cuenten con un valor de *PCI* superior a 4

### 9.2.8 *Sobre las condiciones geotécnicas y sistemas de drenaje*

Como resultado del análisis de los sitios más críticos desde el punto de vista geológico y geotécnico se puede determinar que se sigue evidenciando un mal manejo del deterioro presentado en los taludes de corte y relleno, obras de estabilización, protección superficial de taludes y sistemas de drenaje para el manejo del agua de escorrentía, lo que ha generado que la condición en los puntos analizados haya presentado deterioro constante a lo largo de los años en que se han estado evaluando y monitoreando.

### 9.2.9 *Sobre los márgenes y sistemas de contención vehicular*

En términos generales los sistemas de contención semirrígidos fueron anclados en los márgenes y la superficie fue cubierta de concreto o pavimento, condición que no permite evidenciar si el anclaje se realizó según las condiciones típicas en las que se ensayan estos dispositivos.

Las barreras semirrígidas y barreras de concreto presentan elementos que irrumpen la continuidad del dispositivo, condición que limita su funcionamiento como sistema y podría aumentar la severidad de un choque vial.

Sumado a las discontinuidades de las barreras, las bases de señales tipo pórtico y las pilas de puentes invaden el escaso espacio de espaldón, condición que propicia la colisión contra estos elementos, por lo que pone en riesgo a los usuarios y a las mismas estructuras.

Las aproximaciones a las casetas de peajes cuentan con elementos monolíticos de concreto que, en caso de ser colisionados, podrían desprender trozos de concreto, aumentar la severidad de los daños a los usuarios y personal del peaje.

Las cunetas en general presentan una sección transversal triangular, que, acompañada del escaso ancho de los espaldones y las bifurcaciones, representa un riesgo





continuo a través de toda la vía. En algunas secciones se identificaron sistemas de contención vehicular colocados posteriores a una cuneta triangular, por lo que el dispositivo de seguridad se convierte en un obstáculo más en la vía.

Se identificaron elementos que conectan las barreras metálicas con las de concreto, sin embargo, estas no son similares a los diseños típicos para estos elementos de transición, por lo que no se tiene certeza si son dispositivos apropiados para la función, presentando movimiento en el terreno en este sector de la Ruta Nacional.

#### 9.2.10 Sobre la movilidad y seguridad vial

##### 9.2.10.1 Sobre el señalamiento vertical

La evaluación sobre la Ruta Nacional 27 identificó un total de 1352 señales verticales, de las cuales un 84 % se clasificó como *Buena*, 10 % como *Regular* y cerca de un 6 % como *Mala*. Cabe destacar que la evaluación fue por auscultación visual (cualitativa), por lo que no sustituye una evaluación que considere la retrorreflectividad de los viniles (cuantitativa), sin embargo, brinda insumos para estimar de forma generalizada el estado de las señales.

De forma análoga, la evaluación sobre las radiales identificó 161 señales en la Radial El Coyol, Turrúcares, Atenas y Escobal. De forma general su estado fue similar al de la Ruta Nacional 27: 81 % clasificado como *Buena*, 10 % como *Regular* y cerca de un 9 % como *Mala*. De forma puntual por radial sobresalen los siguientes resultados:

- Radial El Coyol: un total de 30 señales que representan un 34 % de los dispositivos presentaron un estado entre *Regular* y *Mala*, así como con una tipología informal.
- Radial Atenas: de las 51 señales identificadas, un total de 13 señales o un 24 % del total presenta condiciones entre *Regular* y *Mala*, así como con una tipología informal.
- Radial Escobal: las 7 señales identificadas presentaron un estado *Buena* y una tipología oficial.

##### 9.2.10.2 Sobre la demarcación horizontal

Posterior a la evaluación de 182 tramos homogéneos a través de toda la Ruta Nacional 27, la valoración de la demarcación horizontal en los sitios críticos del tramo sobre la Ruta Nacional 27 presentó un 30 % en estado *Buena*, 49 % en estado *Regular* y 21 % en estado *Mala*. Cabe destacar que la evaluación fue por auscultación visual y solo para el tramo crítico en cada tramo homogéneo, por lo que no sustituye una evaluación que considere la retrorreflectividad de la demarcación horizontal, sin embargo, brinda insumos para estimar de forma generalizada el estado de la demarcación en tramos críticos.

De forma análoga, la evaluación sobre las radiales se realizó sobre 40 tramos homogéneos que comprenden la Radial El Coyol, Turrúcares, Atenas y Escobal. De forma



general su estado fue deficiente con un 22,5 % clasificado como *Bueno*, 30 % como *Regular* y un 47,5 % como *Malo*. De forma puntual por radial sobresalen los siguientes resultados:

- Radial El Coyol: se registraron 15 puntos críticos donde cerca de un 47 % presentaron condición *Mala* y cerca de un 33 % una condición *Regular*, esto equivale a un 80 % en condición *Regular* y *Mala* para los sitios críticos que se evaluaron.
- Radial Turrúcares: se registró un 100 % de los 3 puntos analizados con condiciones en la categoría *Mala*.
- Radial Atenas: se registraron 18 puntos críticos donde se evaluó el estado de la demarcación horizontal, estos presentaron un 50 % con una condición *Mala* y un 33 % con una condición *Regular*, esto equivale a un 83 % en condición *Regular* y *Mala* para los sitios críticos que se evaluaron.
- Radial Escobal: se registraron 4 puntos críticos donde se evaluó el estado de la demarcación horizontal, el 75 % presentó un estado *Bueno*.

#### 9.2.10.3 Sobre los márgenes y sistemas de contención vehicular

Las deficiencias en los márgenes de carretera del proyecto son recurrentes y constantes a través de toda la vía y sus radiales, donde se presentan anchos de espaldón interno y externo insuficientes, cunetas con sección riesgosa, así como luminarias, pilas o postes de señales que representan riesgos para los usuarios.

Según se especificó en la Sección 8.5.2 Sistemas de contención vehicular, se ha notificado a la CNC en diversos informes las deficiencias en material de sistemas de contención vehicular, los cuales se resumen, pero no se limitan a:

- Barreras de contención aisladas
- Terminales de barrera mediana en concreto
- Placas metálicas en barrera mediana
- Elementos de concreto en aproximaciones a peajes
- Barreras metálicas laterales con bordillo de concreto
- Transiciones entre sistemas de contención
- Anclajes entre barreras de concreto consecutivas y a la superficie de la vía

Estas deficiencias han propiciado choques viales o han incidido en aumentar su severidad, caso evidenciado en la Figura 137, donde se observan 2 choques viales que reflejan las deficiencias de los dispositivos de contención vehicular de concreto en mediana cuando se presentan las siguientes condiciones:

- Ancho de espaldón interno insuficiente
- Elementos que irrumpen con la continuidad del sistema de contención vehicular, en este caso las luminarias en la mediana.



- Ausencia de vinculación entre las secciones de barrera y entre las barreras y la superficie del pavimento.

Las deficiencias antes mencionadas son recurrentes, lo cual se evidenció a través de la identificación de 792 sistemas de contención vehicular deficientes y colisionados sobre la Ruta Nacional 27.

De estos 792 sistemas de contención, un 1 % se clasificó como *Colisionados* y 99 % como *Deficientes*. Al segregar los dispositivos con condición *Deficiente* según el tipo y estado, sobresalen tres estados específicos: los *terminales* en estado *Crítico* representan un 37 % de los registros, seguido de las *discontinuidades* con estado *Regular* para un 36 % y cerca de un 21 % de *transiciones* en estado *Regular*.

De forma análoga, la evaluación sobre las radiales registró 82 dispositivos en condición *Deficiente* y *Colisionado*, esto para la Radial El Coyol, Turrúcares, Atenas y Escobal. Al segregar los dispositivos según su condición, un 1 % se clasificó como *Colisionados* y 99 % como *Deficientes*. Al segregar los dispositivos con condición *Deficiente* según el tipo y estado, resaltan que los terminales en estado *Crítico* representan un 66,7 % de los registros y un 13,6 % en estado *Regular*, para un total de 80,3 % de todos los dispositivos deficiente. El 19,8 % restante de los dispositivos corresponde a transiciones en estado *Regular*.

#### 9.2.10.4 Sobre los tramos con presencia de atropellos

Las condiciones que propician la ocurrencia de atropellos a peatones y ciclistas se extiendan de forma generalizada a través de toda la vía y coinciden con las evidenciadas según Montero (2019), donde afirma que el proyecto presenta deficiencias en los cruces peatonales como la ausencia de sistemas de contención vehicular laterales en accesos a puente, mallas de protección, conexiones con infraestructura ciclista y transporte público, ausencia de iluminación en accesos, entre otros. Estas condiciones coinciden con la evaluación realizada a las distintas zonas donde han ocurrido atropellos, cuyos factores de riesgo están asociados mayormente a la falta de conectividad entre los atractores y generadores de viajes peatonales, como lo son los comercios, poblados y las bahías de autobús.

El análisis realizado en los tramos de concentración de atropellos evidencia las necesidades de cruce de la carretera por parte de habitantes de diferentes poblados así como también de trabajadores. Estas personas requieren acceder al servicio de transporte público directamente sobre la troncal principal, lo cual en la mayoría de los casos está fuera de las áreas de influencia de los puentes peatonales existentes sobre la Ruta Nacional 27. A través de mapas de uso del suelo y áreas de influencia se constata esta carencia de



infraestructura para cruzar la vía de forma segura y caminar por sus costados, incrementando así la exposición al riesgo y la probabilidad de ocurrencia de atropellos.

#### 9.2.10.5 Sobre los tramos de concentración de choques viales

A partir del análisis de tramos de concentración de choques viales, basado en el registro histórico del periodo 2016 – 2019, se identificaron 9 sitios con una categoría de siniestralidad de tipo “Riesgo alto de ocurrencia de choques viales”, sitios que fueron evaluados de forma específica para identificar las condiciones que podrían incidir en la ocurrencia de siniestros y en el aumento de la severidad de los mismos.

De forma general, los riesgos identificados que podrían incidir en la severidad, frecuencia de los choques y que son recurrentes en todo el proyecto son:

- Espaldón interno y externo de ancho reducido.
- Márgenes de vía con pendientes y objetos fijos riesgosos, así como sistemas de contención vehicular con posibilidades de mejora.
- Ausencia de consistencia de diseño en la sección transversal de la vía.
- Tramos de alta velocidad, sin división física entre flujos opuestos de circulación.
- Mezcla de infraestructura peatonal y de transporte público en una vía de alta velocidad.





## 10 RECOMENDACIONES

Como recomendaciones se plantea al Consejo Nacional de Concesiones (CNC) la necesidad que se evalúe y analice de forma oportuna la factibilidad y viabilidad técnica y legal de ejecutar las siguientes acciones:

### 10.1.1 Sobre la evaluación funcional, estructural, resistencia al deslizamiento y de deterioro superficial del proyecto

- Realizar intervenciones tempranas del tipo sellos de lechadas asfálticas o similares (*slurry seals, fog seals, chip seals, microsurfacing* u otras técnicas) en aquellas zonas con deterioros de tipo funcional y problemas relacionados con la baja resistencia al deslizamiento, con el fin de detener la propagación de los deterioros detectados y las condiciones de inseguridad vial.
- Mantener o mejorar los estándares de calidad y mantenimiento del proyecto puesto que, al realizar el análisis de modelos de deterioro, se detectó que para esta evaluación hubo una mejora en la proyección de los tramos para el momento en que requerirían una intervención mayor. Es por esto que deben considerarse las acciones preventivas correspondientes, que garanticen al Estado costarricense obtener un proyecto de altos estándares al final del periodo de la concesión.

### 10.1.2 Sobre la evaluación de las radiales

- Realizar una intervención del tipo *Rehabilitación Mayor* de manera inmediata en las radiales que presentan condiciones estructurales críticas, para extender su vida de servicio.
- Implementar un programa de mantenimiento rutinario a cada radial, de tal manera que cuente con una adecuada condición estructural, funcional y de seguridad vial, evitando deterioros prematuros y de forma acelerada.

### 10.1.3 Sobre el estado de los taludes y terraplenes adyacentes a la ruta

- Realizar los estudios básicos, la modelación y el diseño de las soluciones requeridas para garantizar la reducción del riesgo potencial por caída de rocas y suelo, de forma tal que no se comprometa el flujo del tránsito vehicular y la seguridad de los usuarios en el sector del PK 37+500.
- Realizar en el PK 38+600 realizar los estudios básicos, la modelación y el diseño de las soluciones requeridas para garantizar la reducción del riesgo potencial por caída de rocas y suelo, de forma tal que no se comprometa el flujo del tránsito vehicular y la seguridad de los usuarios en este sector
- Se considera que la condición del talud en el PK 40+800 conlleva un Alto riesgo para la seguridad de los usuarios. Es urgente realizar los estudios y desarrollar las obras de intervención requeridas para garantizar su estabilidad en el corto y en el largo plazo. Se recomienda priorizar su intervención.
- En el PK 44+500 se recomienda implementar planes de monitoreo que permitan detectar con rapidez estos movimientos y tomar las medidas necesarias de forma



inmediata, con el fin de salvaguardar la seguridad de los usuarios que diariamente transitan por este sector.

- Es necesario que el talud del PK 75+900 realizar los estudios geológicos y geotécnicos necesarios para determinar el potencial de caída de bloques de roca en este tramo de la Ruta Nacional, así como diseñar y construir las medidas de estabilización y protección requeridas para evitar que se presente nuevamente una situación de peligro como la ocurrida en marzo de este año 2021.

#### 10.1.4 Sobre condiciones geométricas del trazado del proyecto

- En términos generales se recomienda cumplir como mínimo o exceder los criterios del Manual Centroamericano de Normas y Diseño Geométrico de Carreteras, SIECA (2011).
- Reubicar las bahías de autobús en rutas marginales que respondan a las necesidades de los usuarios. En caso de que no sea viable, como mínimo dotar de carriles de aceleración y desaceleración de longitudes apropiadas para realizar las maniobras hacia y desde la bahía de forma segura ante las altas velocidades de la ruta.
- Evitar traslapar los carriles de aceleración y desaceleración con bahías de autobús o accesos, ya que aumentan la probabilidad de colisiones y atropellos. Adicionalmente, dotar de estos carriles de las longitudes mínimas que especifica SIECA (2011).
- Cumplir los anchos de espaldón interno y externo planteados por la SIECA (2011), según la clasificación de vía y sus velocidades.
- En caso de que no sea viable ampliar el espaldón en un corto plazo, es recomendable implementar medidas como bandas sonoras en espaldón, las cuales permiten alertar a los vehículos ante posibles salidas de vía, tanto en el margen interno como externo.

#### 10.1.5 Sobre la demarcación horizontal y señalamiento vertical

- Tanto las radiales, como la vía principal, deben contar con demarcación horizontal y señalamiento vertical en buen estado. Estos elementos permiten alertar, prevenir e informar a los usuarios ante cambios en la vía y mejoran la seguridad vial de los usuarios en toda la vía. Por ello, se recomienda la evaluación de la retroreflectividad de la demarcación horizontal y señalamiento vertical, en especial en las secciones donde se identifiquen deterioros y deficiencias, y en caso necesario, gestionar su sustitución.
- Deben removerse todas las señales informales que se ubican sobre la Ruta Nacional 27 y sus radiales.

#### 10.1.6 Sobre los márgenes y sistemas de contención vehicular

- Se recomienda realizar un análisis de los márgenes de la vía, esto para la condición actual y futuras ampliaciones, donde se consideren los criterios presentes en el



Manual SCV: Guía para el análisis y diseño de seguridad vial de márgenes de carreteras (Valverde, 2011). Dicho análisis permitirá identificar los riesgos presentes en la vía, seleccionar la mejor alternativa para atenderlos y en caso de requerir un sistema de contención vehicular, el Manual SCV (Valverde, 2011) especifica los criterios para su diseño y adecuada implementación.

- A lo largo del proyecto se presentan obstáculos como luminarias, pilas de puentes, placas metálicas o bases de señales que irrumpen la continuidad de los sistemas de contención. Se recomienda utilizar dispositivos que permitan la incorporación de las luminarias en el sistema de contención de forma segura, o la reubicación de estos elementos.
- Los postes de las barreras semirrígidas se colocaron sobre una superficie cubierta de concreto o pavimento, por lo que se recomienda verificar las condiciones de instalación según fichas técnicas del fabricante y recomendaciones de los proveedores, en aras de asegurar el correcto funcionamiento de los dispositivos.
- Las terminales de concreto al inicio y final de las barreras medianeras aumentan la probabilidad de choque y vuelco de vehículos, motivo por el que es indispensable el uso de amortiguadores de impacto para estas condiciones, en aras de proveer seguridad a los usuarios. Adicionalmente, el amortiguador de impacto también es necesario en las proximidades de las casetas de peajes, ya que el elemento monolítico de concreto no es un dispositivo ensayado para contener y redireccionar vehículos de forma segura y para proteger la vida de las personas que trabajan en las casetas de peajes.
- En las bifurcaciones entre la Ruta Nacional 27, radiales y rutas aledañas, se identificaron cunetas no traspasables con sección triangular que, ante la salida de vía de un vehículo, aumentarían la severidad de un choque. Se recomienda con base en el Manual SCV (Valverde, 2011), el uso de atenuadores de impacto cuando no se disponga de un área plana y libre de obstáculos de 60 m a partir del punto de apertura. De forma análoga, en caso de disponer de zonas planas y libres de obstáculos en las bifurcaciones, la norma INTE W82:2019 recomienda el uso de hitos de vértice para canalizar más apropiadamente a los conductores.
- El uso de barreras de concreto como dispositivos de control temporal es válido, siempre y cuando se cumpla con las condiciones de instalación de los dispositivos y se cuente con la suficiente zona libre disponible para que estos desarrollen su deflexión máxima y ancho de trabajo. Se recomienda valorar la presencia de las barreras de concreto para uso temporales en el proyecto, retirar los dispositivos que no sean necesarios y realizar mantenimiento o sustitución de los dispositivos necesarios.
- Ante la presencia de cunetas no traspasables con sección triangular a lo largo del proyecto, se recomienda el uso de cunetas con sección transversal traspasable y recuperable, esto según lo especificado por Valverde (2011). En caso de que el derecho de vía no permita una cuneta de sección traspasable y aceptable, se recomienda el uso de rejillas que permitan el tránsito sobre la cuneta, o en caso de



que el análisis de márgenes lo justifique, el uso de sistemas de contención vehicular diseñados para el espacio disponible.

- Las márgenes que presenten taludes con deficiencias de estabilidad, deberán ser atendidos según las recomendaciones de la Sección 6. *Condiciones Geotécnicas y Sistemas de Drenaje*

#### 10.1.7 Sobre la movilidad en general

- En materia de movilidad, toda acción que se realice permitirá mejorar las condiciones de la vía, por lo que se insta a valorarlas tanto para la condición actual, como para la ampliación de la vía. Se recomiendan las siguientes consideraciones en materia de movilidad:
  - Realizar estudios de movilidad de usuarios no motorizados, esto para la condición actual y ampliaciones del proyecto, de forma que se identifiquen los sitios de mayor interacción de usuarios vulnerables con la vía y se identifique la infraestructura que responda a sus necesidades de movilidad.
  - Verificar las observaciones realizadas por Montero (2019) a los puentes peatonales del proyecto y realizar las mejoras pertinentes en pro de una movilidad más segura e inclusiva.
  - Utilizar un modelo de demanda de transporte urbano actualizado que permita identificar los patrones de movilidad y los flujos de los usuarios, herramienta que permitirá identificar la cantidad de usuarios que utilizarían la infraestructura e identificar la cantidad de carriles necesarias por sección de la vía.
  - Realizar un análisis a nivel de simulación del tránsito, con un programa que permita la simulación de las condiciones del proyecto, como peajes, bahías de autobús, interacción de distintos tipos de usuarios, condiciones de congestión, radiales con rotondas, entre otros. En caso necesario, la simulación debería alcanzar un nivel micro, modelo que permite analizar la interacción entre usuarios de forma detallada.
  - Aplicar una auditoría de seguridad vial en todas las etapas del proyecto, en aras de propiciar una movilidad segura e identificar las posibilidades de mejora del proyecto en etapas previas a su finalización.

#### 10.1.8 Sobre los tramos con presencia de atropellos y concentración de choques viales

- Realizar un análisis de accidentabilidad, basado en modelos que identifiquen las zonas de concentración de choques viales, así como la aplicación de metodologías proactivas como el análisis de conflictos y las evaluaciones de seguridad vial, que permitan identificar zonas conflictivas para los usuarios, sin que estén registradas en boletas de choques viales.
- La mayoría de deficiencias que podrían potenciar la ocurrencia y severidad de los choques y atropellos se enfocaron en:





- Incumplimiento de los requerimientos geométricos mínimos especificados en la SIECA (2011).
- Ausencia de consistencia en el diseño geométrico.
- Ausencia de estudios de movilidad integrales que reflejen la necesidad de todos los usuarios, en especial las de los usuarios más vulnerables.
- Ausencia de conectividad entre la infraestructura peatonal y de transporte público.
- Ausencia de un análisis de márgenes de carreteras y del correcto diseño de los sistemas de contención vehicular basado en el Manual SCV (Valverde, 2011).
- En el corto plazo algunas alternativas que podrían solucionar o mitigar las deficiencias existentes en la vía son:
  - Ampliación de las secciones de malla presentes en la mediana para desincentivar los cruces peatonales a través de los carriles.
  - Implementar medidas efectivas que propicien la reducción de velocidad en las aproximaciones a los peajes, en la sección de la troncal donde se da la conexión a las radiales.
  - Implementar medidas que alerten a los conductores ante la salida de vía, como lo es el uso de bandas sonoras en el espaldón externo.
  - Colocar señales o dispositivos tipo delineadores previo a las bifurcaciones de accesos a las radiales e inicio y final de las barreras medianeras para alertar a los usuarios ante la presencia de estos riesgos.
  - Desincentivar las maniobras de adelantamiento mediante la invasión del carril opuesto de circulación con dispositivos como delineadores, esto para las zonas de mayor ocurrencia de choques viales.
- En el largo plazo, en vista de la ampliación de la vía, se recomiendan medidas que van desde la recolección de información básica hasta criterios de diseño:
  - Identificar las necesidades de los usuarios más vulnerables y sus patrones de movilidad, esto mediante un estudio de movilidad integral que permitirá identificar la infraestructura necesaria y más adecuada para estos usuarios.
  - Utilizar un modelo de demanda de transporte urbano para las estimaciones de demanda de flujos vehiculares y analizar las proyecciones de forma complementaria mediante un programa de microsimulación que permita analizar la interacción entre los distintos usuarios. Ambos modelos deben ser calibrados para su uso en el país.
  - Ubicar las bahías de autobús en zonas que respondan a las necesidades de los usuarios y en rutas marginales de baja velocidad con infraestructura peatonal que conecte los centros atractores y generadores de viajes.
  - Actualizar la normativa asociada al proyecto, donde a manera de ejemplo se enlistan:



- Manual centroamericano de normas para el diseño geométrico de carreteras con enfoque de gestión de riesgo y seguridad vial (SIECA, 2011).
- Manual centroamericano de dispositivos uniformes para el control del tránsito (SIECA, 2014).
- Guía para el desarrollo de proyectos de infraestructura desde la óptica de la seguridad vial (Valverde, 2010).
- Manual SCV: Guía para el análisis y diseño de seguridad vial de márgenes de carreteras (Valverde, 2011).
- Acatamiento de las leyes y decretos vigentes en el país en materia de movilidad segura, donde a manera de ejemplo se enlistan:
  - Ley N° 9976 Movilidad peatonal
  - Ley N° 9660 Movilidad y seguridad ciclística
  - Decreto N° 38799-MOPT Reglamento de dispositivos de seguridad y control temporal de tránsito para la ejecución de trabajos en las vías.
  - Decreto N° 37347-MOPT Manual para el desarrollo de proyectos de infraestructura desde la óptica de la seguridad vial, en la formulación y ejecución de las obras públicas pertinentes controladas por el MOPT y por el Estado costarricense, donde se incorpora el Manual SCV: Guía para el análisis y diseño de seguridad vial de márgenes de carreteras (Valverde, 2011).
  - Decreto N° 40632-MOPT donde se establece la incorporación obligatoria del componente de seguridad vial en todas las labores de planificación y construcción de obras viales y su eventual conservación, mejoramiento y/o rehabilitación.
- Mejorar registro de choques viales, al menos apegarse al estándar del COSEVI para estandarizar los datos a nivel país.
- A nivel de cartel, se recomienda incorporar criterios claros de análisis de los datos de choques viales mediante metodologías validadas a nivel internacional, así como incorporar medidas proactivas como las evaluaciones de seguridad vial o el análisis de conflictos viales para atender de forma preventiva las deficiencias en materia de seguridad vial.
- Establecer sanciones u obligaciones a la concesionaria ante el escenario en el que no se cumplan los criterios para optar por el “Premio por seguridad vial”, premio que se detalla ampliamente en el cartel (CNC, 2000a) y contrato (CNC, 2000b) del proyecto vigente.
- Como mínimo apegarse en material de diseño geométrico al Manual centroamericano de normas para el diseño geométrico de carreteras de la SIECA (2011).
- Mantener consistencia en el diseño geométrico de la vía.
- Implementar análisis de márgenes y diseños de sistemas de contención vehicular.



- Implementar cunetas de sección transversal segura o traspasables mediante rejillas.
- Separar de forma física ambos flujos de circulación.



## 11 BIBLIOGRAFÍA

- Aguilar, J., 2017. Caracterización geológica e identificación de drenaje ácido de roca en sitios seleccionados entre el km 37 y el km 48 en la Ruta Nacional 27. Tesis, Lic. Escuela Centroamericana de Geología.
- American Association of State Highway Transportation Officials. (2011). *A Policy on Geometric Design of Highways and Streets*, 6th Edition. Washington, D. C, Estados Unidos de América.
- American Association of State Highway Transportation Officials. (2010). *Highway Safety Manual*, 1st Edition. Washington, D. C, Estados Unidos de América.
- American Association of State Highway Transportation Officials. (1993). *American Association of State Highway Transportation Officials Guide for Design of Pavement Structures*. Washington, DC. Washington, DC. Estados Unidos de America.
- American Association of State Highway Transportation Officials. (2008). *Mechanistic-Empirical Pavement Design Guide, Interim Edition: A Manual of Practice. Asociación Americana de Carreteras Estatales y Oficiales de Transporte*. Washington, DC. Estados Unidos de America.
- American Association of State Highway Officials. (2014). *LRFD Bridge Design Specification*, Seventh Edition. Washington, DC. Estados Unidos de America.
- American Association of State Highway Officials. (1961). *The American Association of State Highway Official Road Test: History and Description of Project. Highway Research Board*, Vol. 61, No. 1. Washington, DC. Estados Unidos de America.
- Al-Omari & Darter. (1994). *Relationships between international roughness index and Present serviceability ratings*. Transportation Research Council, Washington D.C. Estados Unidos de América.
- Arriaga, P. & C. Mario. (1998). *Índice de Rugosidad Internacional en la red carretera de México*. Publicación Técnica No 108. Sanfandila, Qro. México.
- Sociedad América para Ensayos y Materiales (ASTM por sus siglas en inglés). Estados Unidos de América.
- Badilla, G. (2009). *Determinación de la regularidad superficial de pavimento mediante el cálculo del índice regularidad internacional (IRI): Aspectos y consideraciones importantes*. Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales, Universidad de Costa Rica. San José, Costa Rica.
- Badilla, G., Elizondo, F. & Barrantes, R. (2008). *Determinación de un procedimiento de ensayo para el cálculo del IRI*. Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales, Universidad de Costa Rica. San José, Costa Rica.
- Carey, W. & Irick, P. (1960). *The Pavement Serviceability Performance Concept. Highway Research Board*. Record 250. Estados Unidos de América.





- Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos (2013). *Lineamientos para el Diseño Sismorresistente de Puentes*, San José, Costa Rica: Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos.
- Consejo Nacional de Concesiones (CNC). (2000a). Cartel de licitación: Concesión de obra con servicio público de la carretera San José – Caldera. Licitación pública internacional N°01-98. Ministerio de Obras Públicas y Transportes. San José, Costa Rica.
- Consejo Nacional de Concesiones (CNC). (2000b). Contrato de concesión: Concesión de obra con servicio público de la carretera San José – Caldera. Ministerio de Obras Públicas y Transportes. San José, Costa Rica.
- De Solminihac, H., Salsilli, R., Kohler, E. & Bengoa, E. (2003). *Analysis of Pavement Serviceability for the AASHTO Design Method: The Chilean Case*. Santiago, Chile.
- Dold, B., 2010: Gestión de residuos y minería sostenible. Basic concepts in environmental geochemistry of sulfidic mine-waste management.- 37 pp. Universidad Internacional de Andalucía.
- Dujisin, D. & Arroyo, A. (1995). *Desarrollo de una Relación Índice de Serviciabilidad - Índice de Rugosidad Internacional (IRI)*. Comisión de Diseño y Evaluación De Pavimentos, Corporación de Desarrollo Técnico (CDT), Cámara Chilena de la Construcción. Santiago, Chile.
- Grandia, F., Salas, J., Arcos, D., Archambault, A. & Cottard, F., 2009: Impacto del drenaje ácido de explotaciones mineras en la cuenca del Río Margarita y Embalse de Hatillo (República Dominicana).- Bol. Geol. Minero, 120(4): 595-606.
- Hall, K. T. & Correa Muñoz, C. E. (2007). *Estimation of present serviceability index from International Roughness Index*. Transportation Research Record 1655, TRB. Consejo de Investigación Nacional. Paper No. 99-1508 Washington, D. C, Estados Unidos de América.
- Huang, Y. (1998) *Pavement Analysis and Design* Prentice-Hall, Inc. Englewood Cliffs, New Jersey. Estados Unidos de América.
- Hveem, F M. & Carmany R. M. (1948). *The Factors Underlying the Rational Design of Pavements*. Highway Research Board, Vol 28, pp 101-136. Estados Unidos de América.
- INTECO. (2019). *INTE W82: 2019. Dispositivos de señalización temporal para el control del tránsito en obras. Hitos de vértice. Requisitos y métodos de ensayo*. San José, Costa Rica.
- LanammeUCR, *Informe de evaluación de la Ruta Nacional 27*, año 2010, PITRA.
- LanammeUCR, *Informe de evaluación de la Ruta Nacional 27*, año 2011, PITRA.
- LanammeUCR, *Informe de evaluación de la Ruta Nacional 27*, año 2012, PITRA.
- LanammeUCR, *Informe de evaluación de la Ruta Nacional 27*, año 2013, PITRA.



- LanammeUCR, *Informe de evaluación de la Ruta Nacional 27*, año 2014-2015, PITRA
- LanammeUCR, *Informe de evaluación de la Ruta Nacional 27*, año 2015-2016, PITRA
- LanammeUCR, *Informe de evaluación de la Ruta Nacional 27*, año 2016-2017, PITRA
- LanammeUCR, *Informe de evaluación de la Ruta Nacional 27*, año 2017-2018, PITRA
- LanammeUCR, Informe Proyecto N° UI-PE-03-08, *Variaciones a los rangos de clasificación de la red vial nacional de Costa Rica*, Unidad de Investigación, Año 2008.
- LanammeUCR. (2000). *Metodologías para la evaluación del riesgo asociado con eventos sísmicos*. Memorias de taller: Metodologías de análisis de vulnerabilidad de corredores viales ante sismo y lluvias intensas. San José, Costa Rica: Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales, Universidad de Costa Rica.
- LanammeUCR. (2011). *Guía de evaluación de seguridad vial en puentes*. Universidad de Costa Rica. San José, Costa Rica.
- Montero, M. (2019). *Diagnóstico de utilización de puentes peatonales en la Gran Área Metropolitana* (Tesis de licenciatura, Universidad de Costa Rica). San José, Costa Rica.
- Moya, L., Agüero, J., Zamora, J. y Jiménez, D. (2019). *Análisis de choques en la Ruta 27 usando modelos multivariados* (Tesis de maestría, Universidad de Costa Rica). San José, Costa Rica.
- Palacios, C. (2011). *Análisis sobre la Guía Mecánico Empírica AASHTO 2011*. Laboratorio GEOLAB & VialTech. Ecuador.
- Paterson, W. (1986). *Road Deterioration and Maintenance Effects*. Banco Mundial. Washington, D.C., Estados Unidos de America.
- Permanent International Association of Road Congresses (PIARC). (2003). *Road Safety Manual, 1st Edition*. PIARC Technical Committee on Road Safety.
- Piedra, Jonathan. (2007) *Coeficiente de fricción de las carreteras nacionales en Costa Rica*, Proyecto final de graduación, Escuela de Ingeniería Civil, Universidad de Costa Rica
- Porras, H., Cascante, M., Granados, R., y Alvarado, G.E., 2012: *Volcano-Estratigrafía y tectónica del Valle Central occidental y las estribaciones de los Montes del aguacate a lo largo de la Ruta 27*, Costa Rica. *Rev. Geol. Amér. Central*, 47: 69-93.
- Rodríguez, S., Agüero, J., Zamora, J. y Jiménez, D. (2019). *Análisis de sitios de concentración de choques viales mediante la utilización de sistemas móviles para el*



*inventario de carreteras en la Ruta Nacional 1.* (Tesis de maestría, Universidad de Costa Rica). San José, Costa Rica.

- Rodríguez, G., 2010: El sistema de gestión ambiental en el control del drenaje ácido de mina. 315 pp. Universidad Nacional de Ingeniería Lima, Perú [Tesis Maestría.].
- Ruiz, P., Araúz, A., Garcia, J., Villalobos, G., Sedó, A & Suárez, C., 2015: Drenaje ácido de rocas en taludes de la ruta nacional 27, San José - Caldera, Costa Rica. *Rev. Geol. Amér Central*, 53: 25-46 DOI: 0.15517/rgac.v53i0.21146.
- Secretaría de Integración Económica Centroamericana. (2014). *Manual centroamericano de dispositivos uniformes para el control del tránsito*. Ciudad de Guatemala, Guatemala: SIECA.
- Secretaría de Integración Económica Centroamericana. (2011). *Manual Centroamericano de Normas y Diseño Geométrico de Carreteras*. Ciudad de Guatemala, Guatemala: SIECA.
- Sobek, A., Schuller, W., Freeman, J & Smith, R., 1978: Field and Laboratory Methods Applicable to Overburden and Minesoils. – 203 págs. U.S. Environmental Protection Agency (USEPA), Cincinnati, Ohio.
- Suarez, C. 2017. Metodología para la Caracterización del Efecto del Drenaje Ácido en las rocas y el concreto lanzado en los taludes de la Ruta Nacional No. 27 (San José - Caldera), tesis, Lic. Escuela Centroamericana de Geología.
- Unidad de Evaluación de la Red Vial Nacional. (2011). Informe de Evaluación de la Red Vial Nacional Pavimentada de Costa Rica LM-PI-UE-05-2011. LanammeUCR.
- UMTRI Research Review. The Shape of Roads to Come: Measuring and Interpreting Road Roughness Profiles. Volúmen 33. Número 1, 2002.
- United States Environmental Protection Agency (USEPA) Office Of Solid Waste Special Waste Branch. 1994: Technical Document Acid Mine Drainage Prediction. Epa530-R94-036 Ntis Pb94-201829. 52 pp.
- Valverde, G. (2011). *Manual SCV: Guía para el análisis y diseño de seguridad vial de márgenes de carreteras*. Vicerrectoría de Investigación. Universidad de Costa Rica. San José, Costa Rica.
- Valverde, G. (2010). *Guía para el desarrollo de proyectos de infraestructura desde la óptica de la seguridad vial*. San José, Costa Rica.
- Vargas, W. “Guía para elaborar perfiles de vulnerabilidad de infraestructura vial ante amenazas naturales” LANAMME. UCR. 2002.
- Vargas, W.; Garro, J. “Gestión de riesgos naturales en infraestructura vial” LANAMME. UCR. 2003.
- Vargas, W.; Garro, J. “Relación entre las características geométricas y la vulnerabilidad de algunas rutas de montaña en Costa Rica” I Congreso Ibero-Americano de Seguridad Vial (I CISEV). Costa Rica. 2008.



UNIVERSIDAD DE  
COSTA RICA



LABORATORIO NACIONAL  
DE MATERIALES Y MODELOS ESTRUCTURALES





UNIVERSIDAD DE  
COSTA RICA



LABORATORIO NACIONAL  
DE MATERIALES Y MODELOS ESTRUCTURALES

## Anexo I: Resultados obtenidos con el Deflectómetro de Impacto



A continuación, se muestran las figuras con los resultados de la evaluación utilizando el Deflectómetro de Impacto del LanammeUCR, para ambos sentidos de la Ruta Nacional 27.

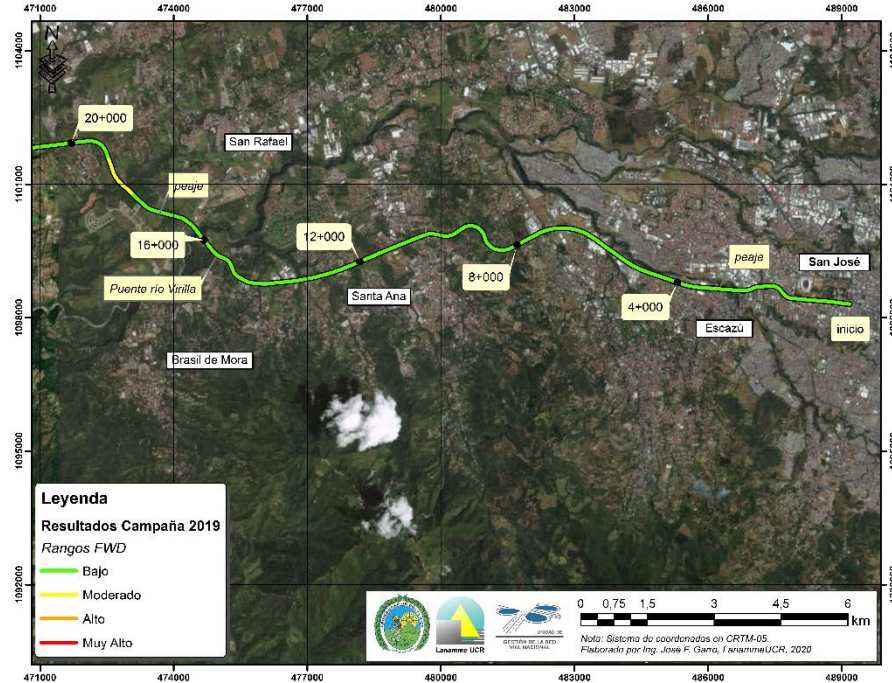


Figura A1 1. Resultados FWD, Ruta Nacional 27, sentido San José – Caldera Est. 0+000 - 20+000

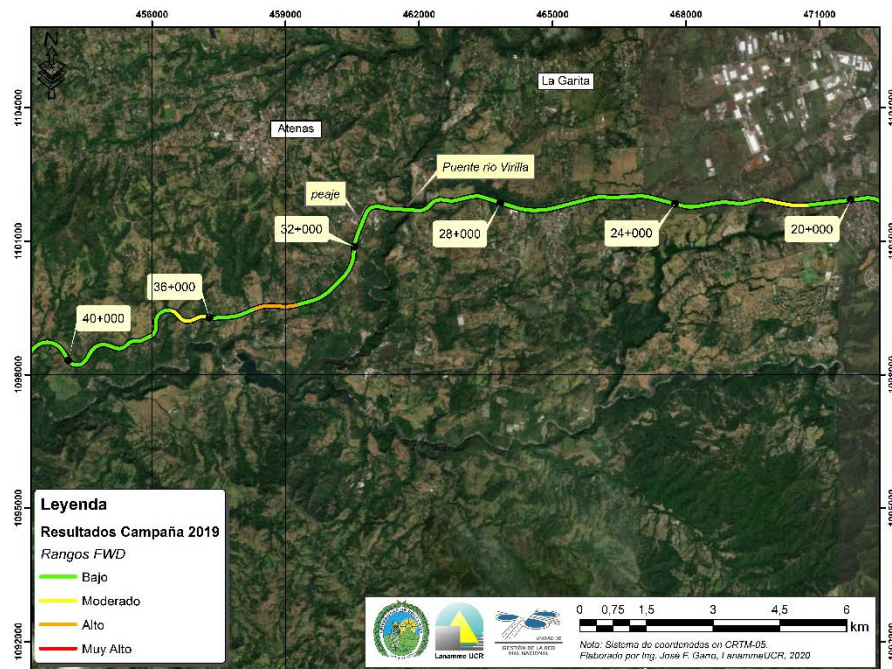


Figura A1 2. Resultados FWD, Ruta Nacional 27, sentido San José – Caldera Est. 20+000 - 40+000



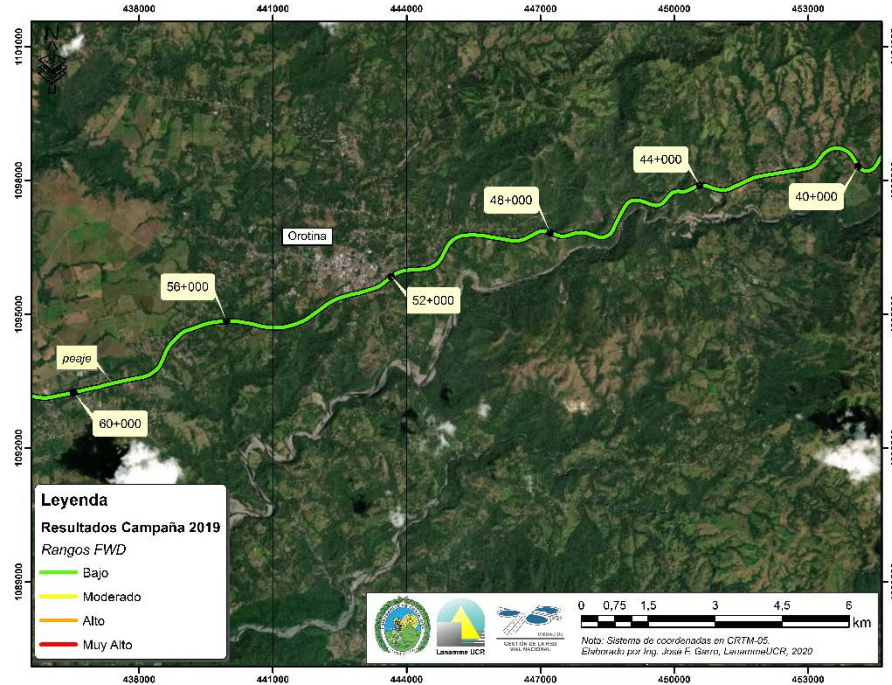


Figura A1 3. Resultados FWD, Ruta Nacional 27, sentido San José – Caldera Est. 40+000 - 60+000

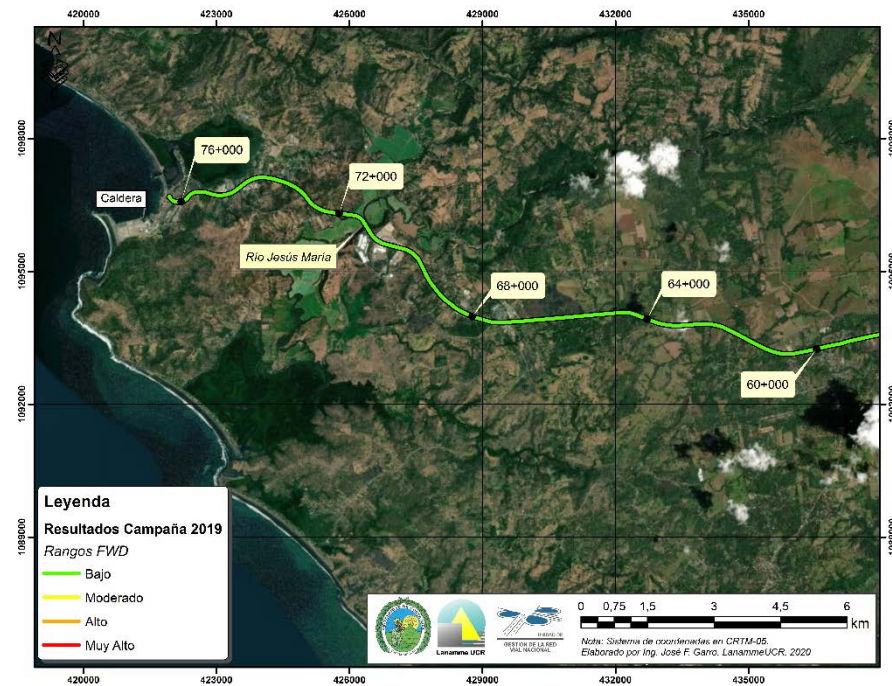


Figura A1 4. Resultados FWD, Ruta Nacional 27, sentido San José – Caldera Est. 60+000 - 76+000



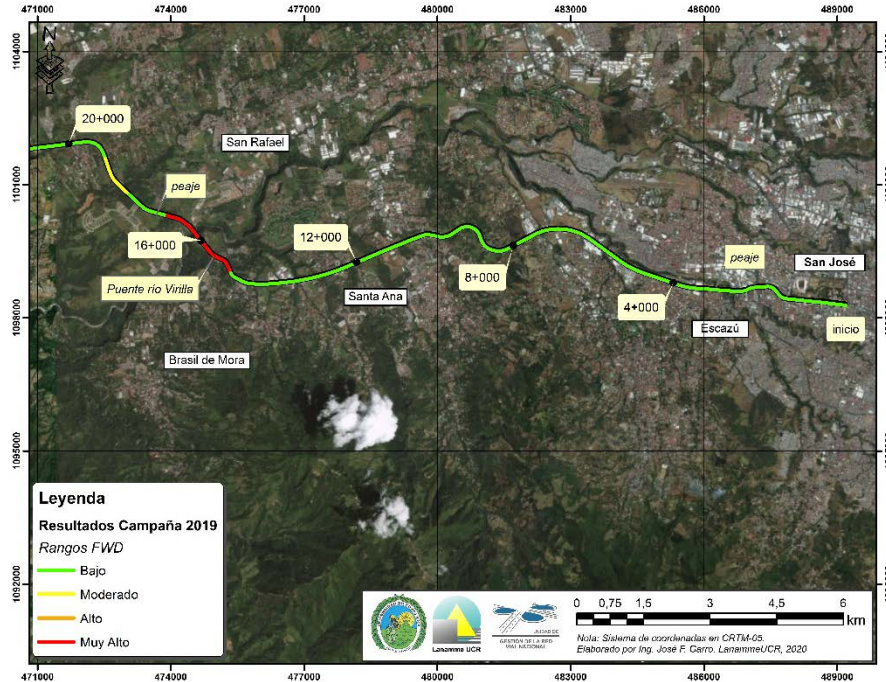


Figura A1 5. Resultados FWD, Ruta Nacional 27, sentido Caldera – San José Est. 0+000 - 20+000

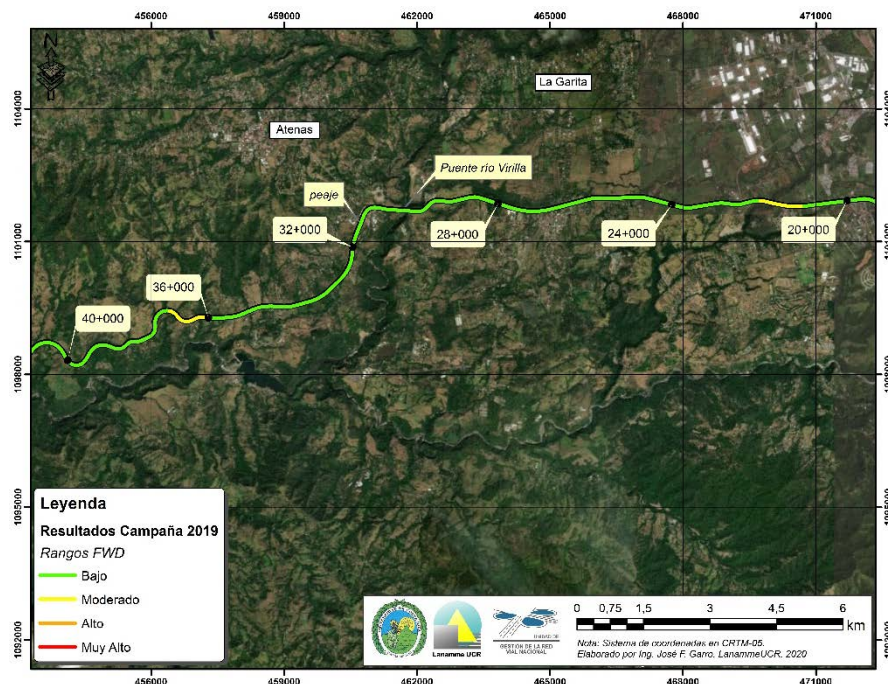


Figura A1 6. Resultados FWD, Ruta Nacional 27, sentido Caldera – San José Est. 20+000 – 40+000



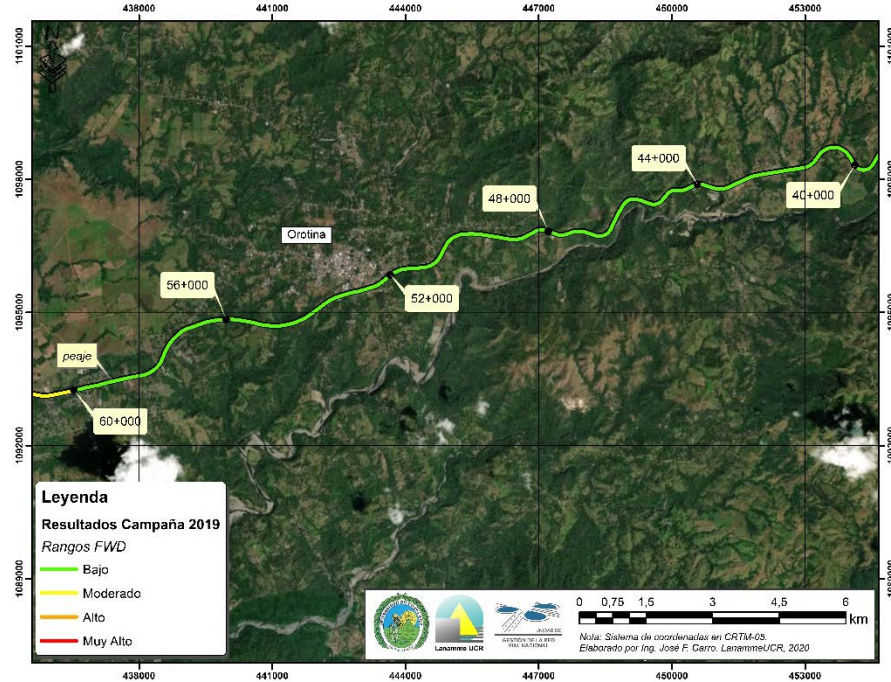


Figura A1 7. Resultados FWD, Ruta Nacional 27, sentido Caldera – San José Est. 40+000 - 60+000



Figura A1 8. Resultados FWD, Ruta Nacional 27, sentido Caldera – San José Est. 60+000 - 76+000



UNIVERSIDAD DE  
COSTA RICA



LABORATORIO NACIONAL  
DE MATERIALES Y MODELOS ESTRUCTURALES

## Anexo II: Resultados obtenidos Perfilómetro Láser





A continuación, se muestran las figuras con los resultados de la evaluación utilizando el Perfilómetro Láser del LanammeUCR, para ambos sentidos de la Ruta Nacional 27.

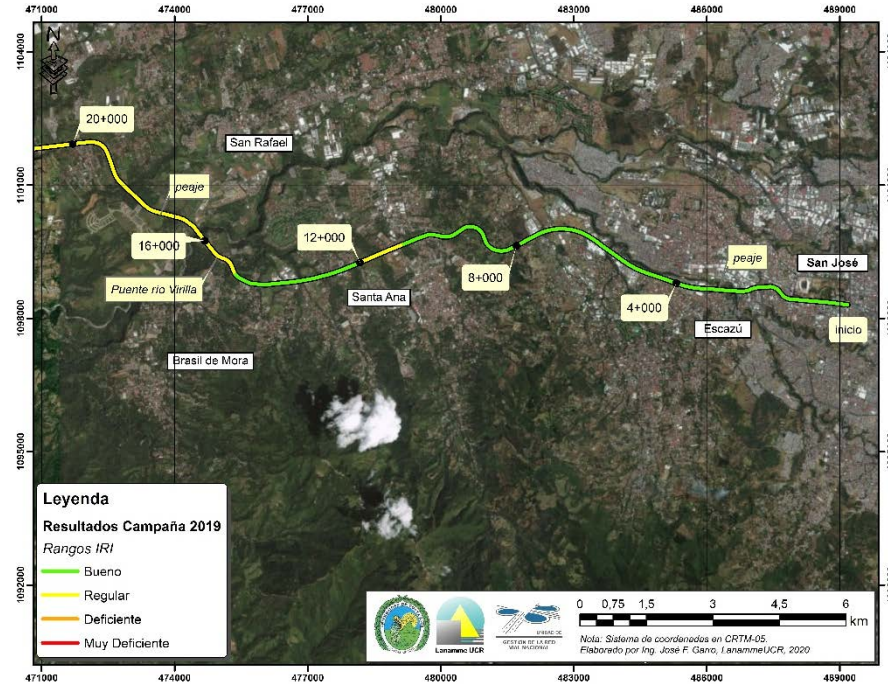


Figura A2 1. Resultados IRI, Ruta Nacional 27, sentido San José – Caldera Est. 0+000 - 20+000

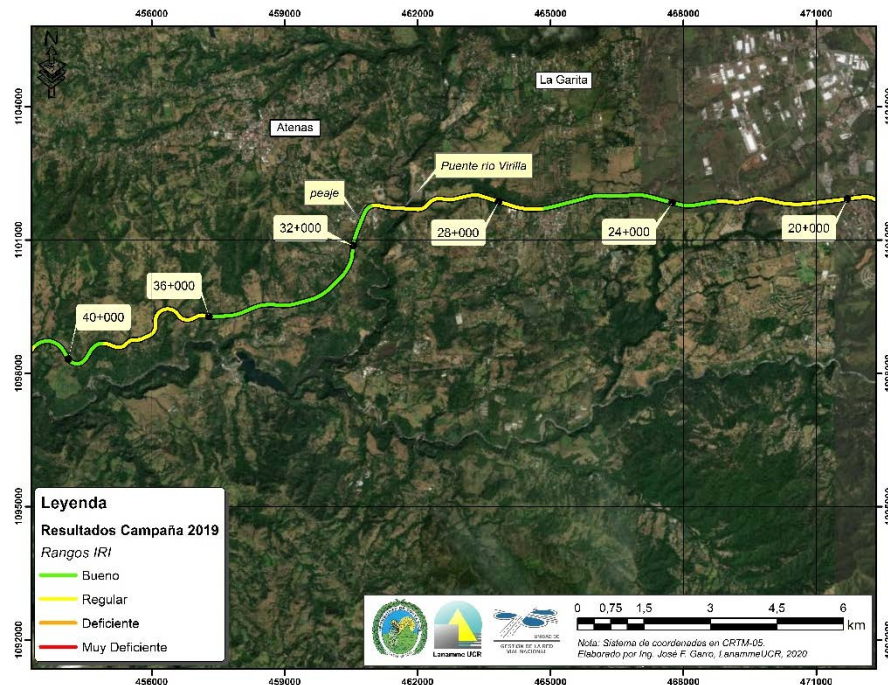


Figura A2 2. Resultados IRI, Ruta Nacional 27, sentido San José – Caldera Est. 20+000 - 40+000



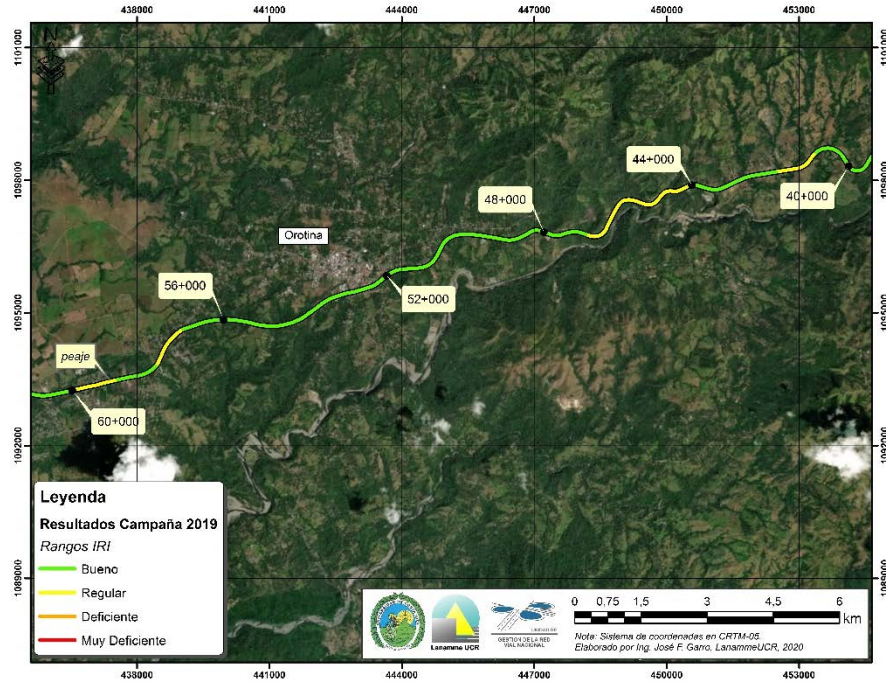


Figura A2 3. Resultados IRI, Ruta Nacional 27, sentido San José – Caldera Est. 40+000 - 60+000

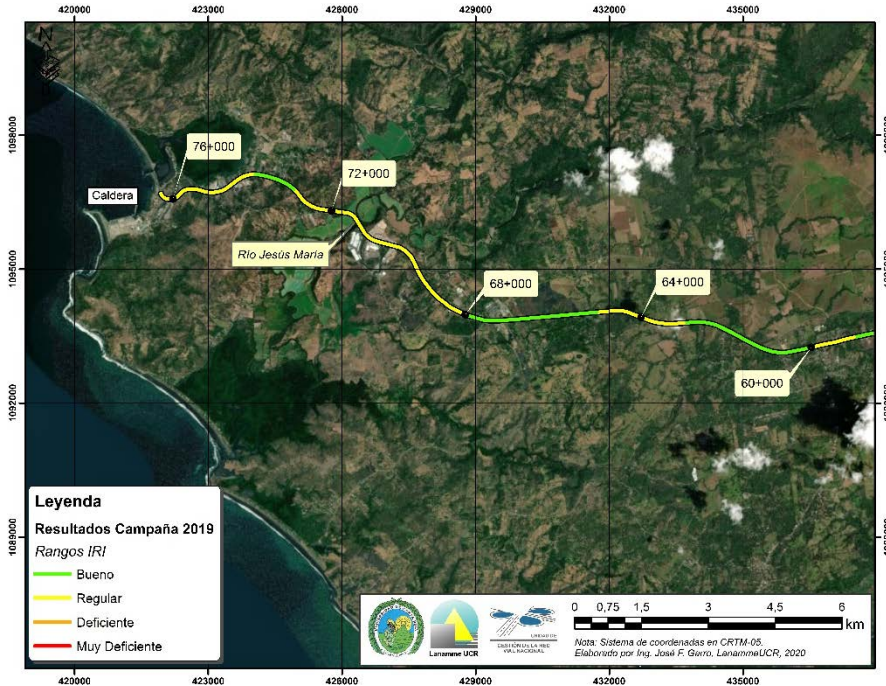


Figura A2 4. Resultados IRI, Ruta Nacional 27, sentido San José – Caldera Est. 60+000 - 76+000



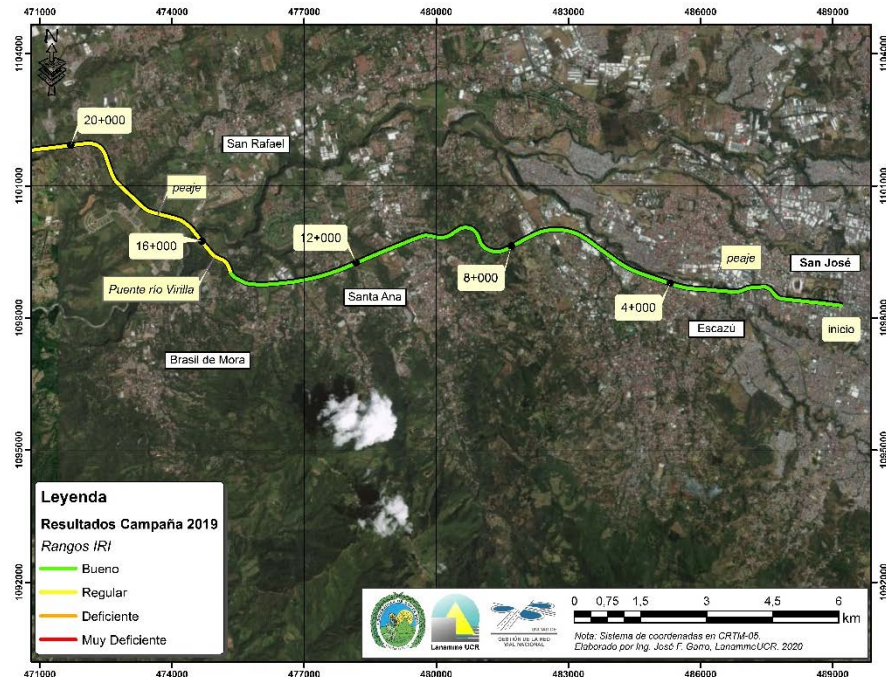


Figura A2 5. Resultados IRI, Ruta Nacional 27, sentido Caldera – San José Est. 0+000 - 20+000

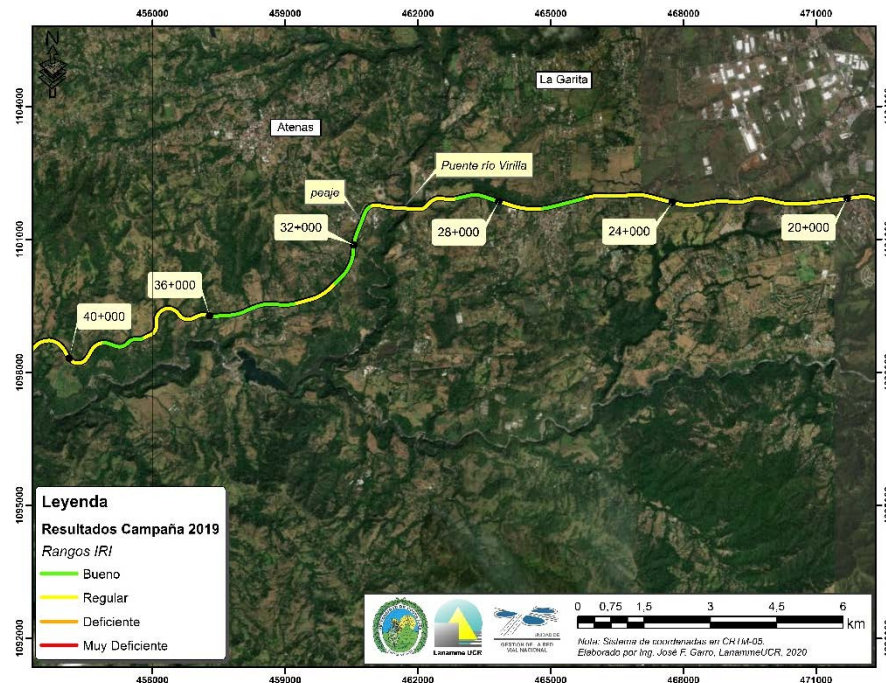


Figura A2 6. Resultados IRI, Ruta Nacional 27, sentido Caldera – San José Est. 20+000 - 40+000



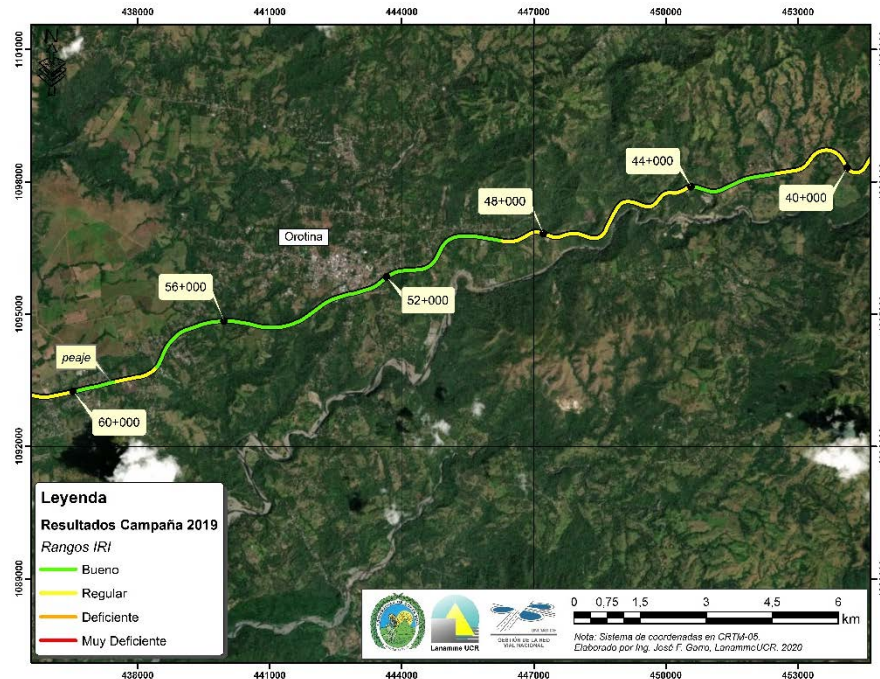


Figura A2 7. Resultados IRI, Ruta Nacional 27, sentido Caldera – San José Est. 40+000 - 60+000

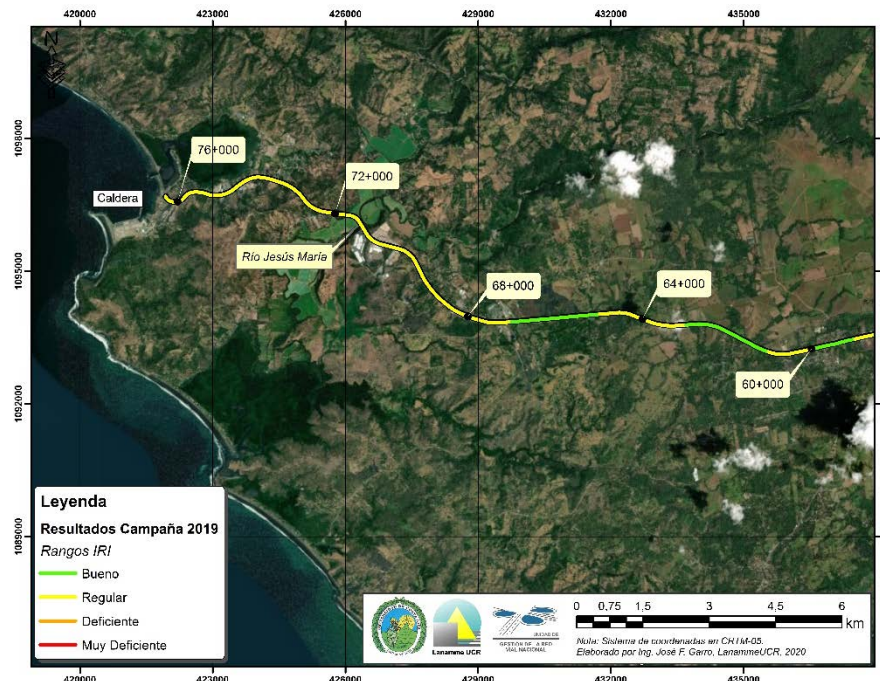


Figura A2 8. Resultados IRI, Ruta Nacional 27, sentido Caldera – San José Est. 60+000 - 76+000



UNIVERSIDAD DE  
COSTA RICA



LABORATORIO NACIONAL  
DE MATERIALES Y MODELOS ESTRUCTURALES

## Anexo III: Resultados obtenidos Medidor de Agarre Superficial



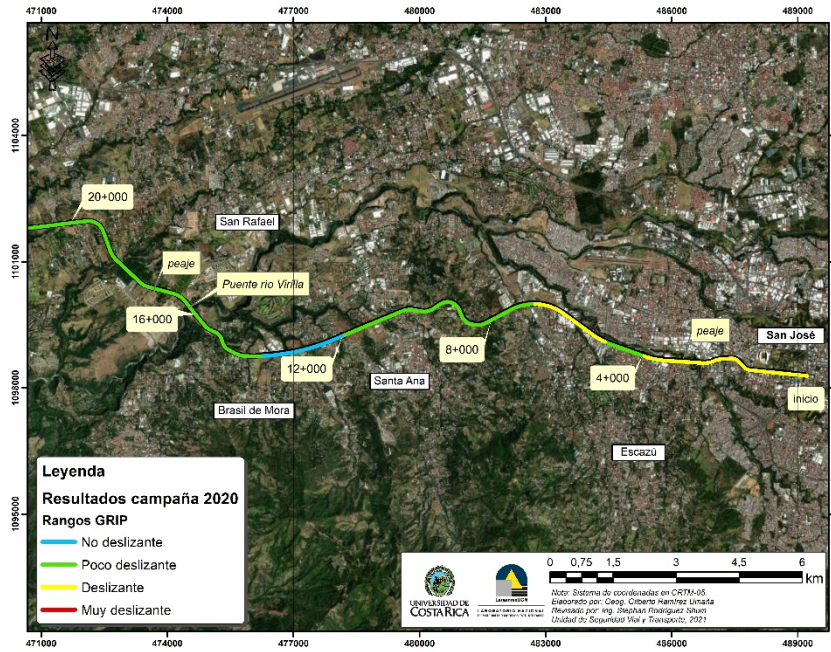


Figura A3 1. Resultados Grip, Ruta Nacional 27, sentido San José – Caldera Est. 0+000 -20+000

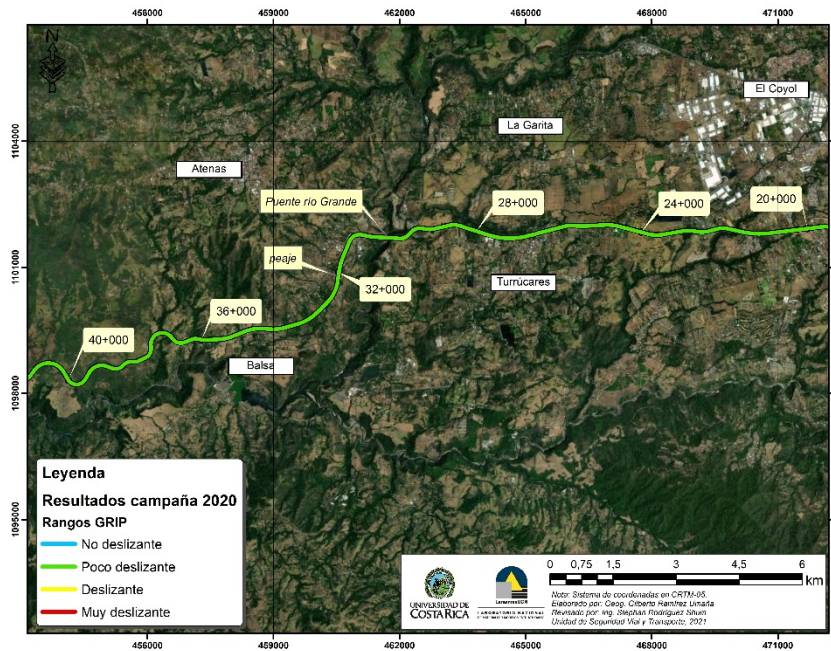


Figura A3 2. Resultados Grip, Ruta Nacional 27, sentido San José – Caldera Est. 20+000 - 40+000



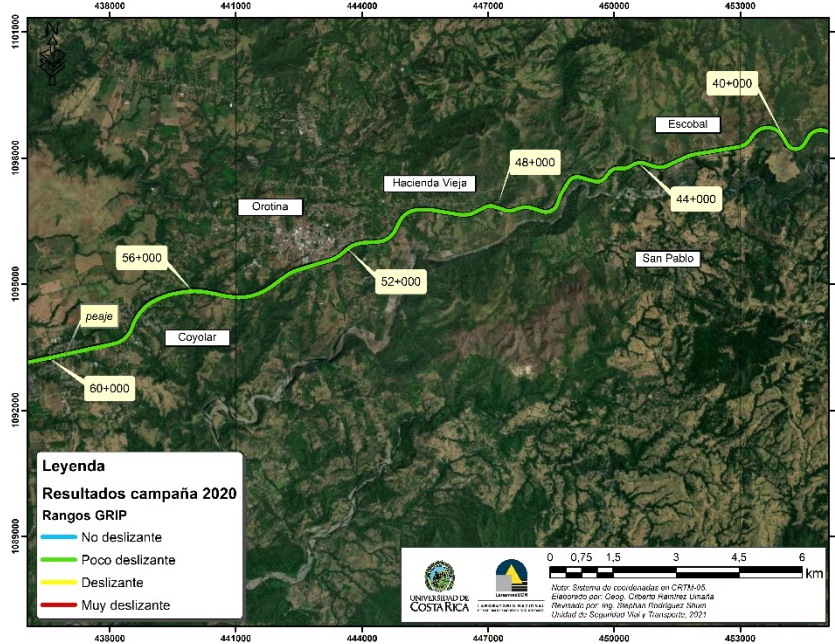


Figura A3 3. Resultados Grip, Ruta Nacional 27, sentido San José – Caldera Est. 40+000 - 60+000



Figura A3 4. Resultados Grip, Ruta Nacional 27, sentido San José – Caldera Est. 60+000 - 76+000



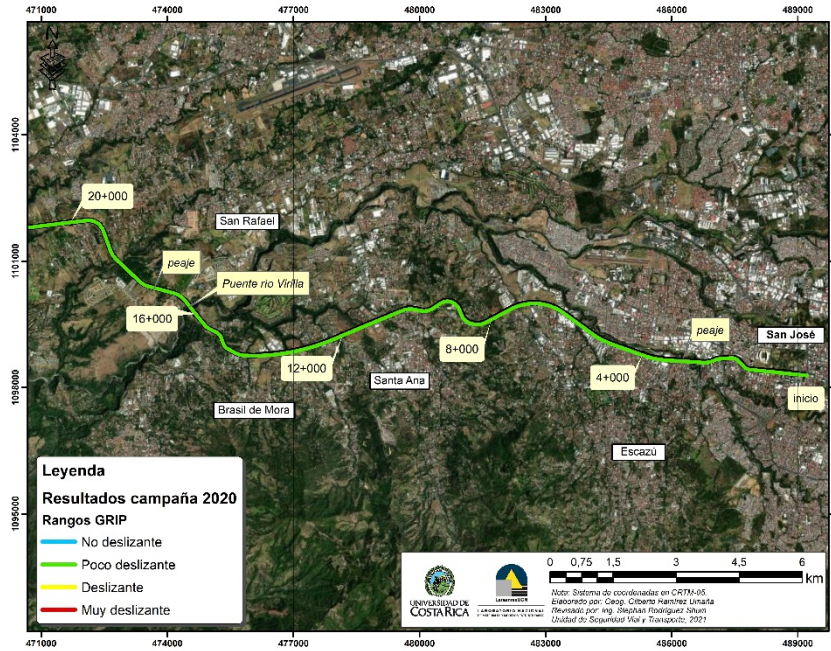


Figura A3 5. Resultados Grip, Ruta Nacional 27, sentido Caldera – San José Est. 0+000 - 20+000

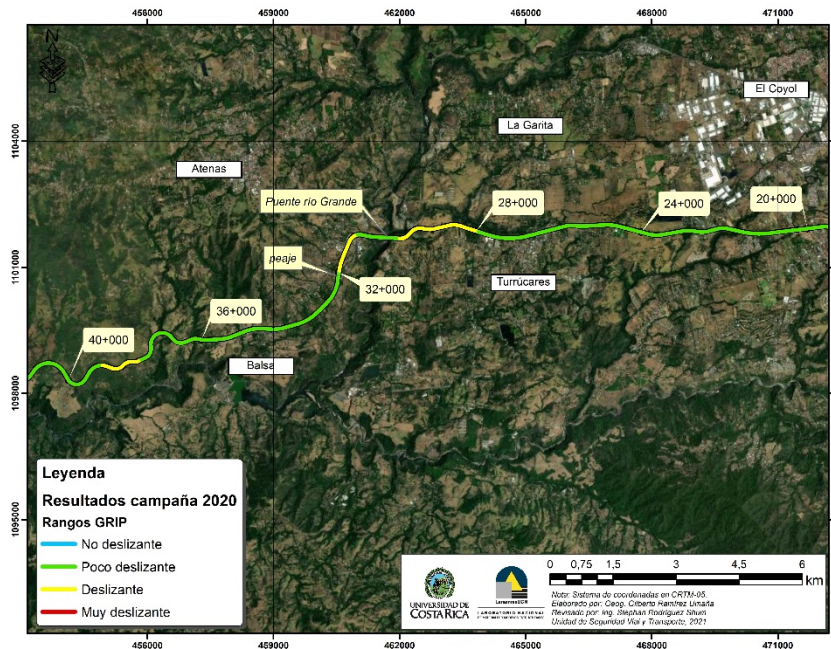


Figura A3 6. Resultados Grip, Ruta Nacional 27, sentido Caldera – San José Est. 20+000 - 40+000



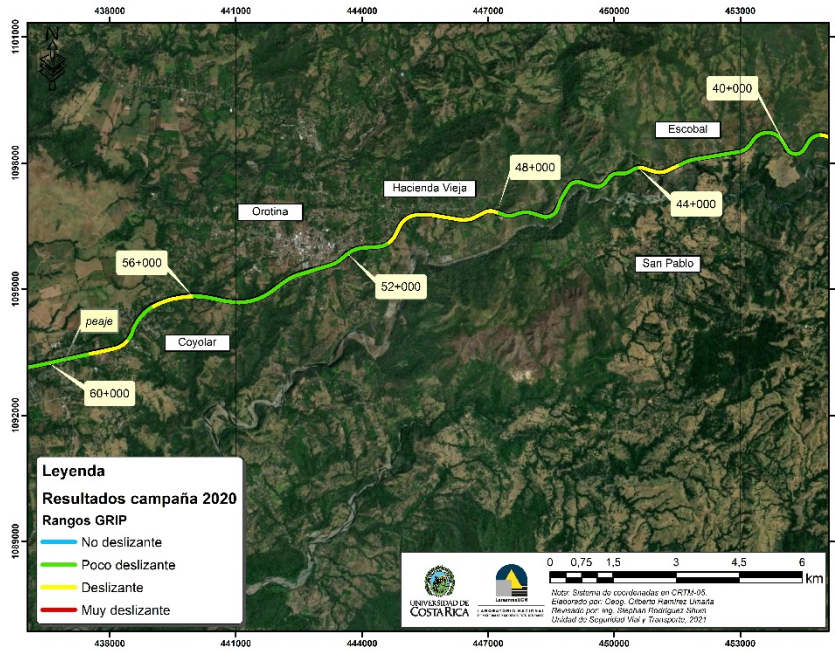


Figura A3 7. Resultados Grip, Ruta Nacional 27, sentido Caldera – San José Est. 40+000 - 60+000

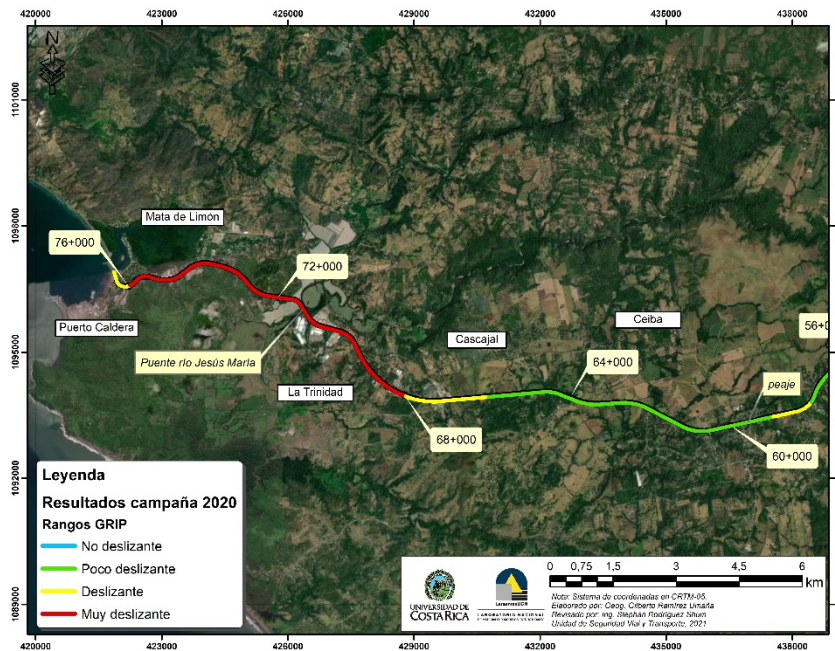


Figura A3 8. Resultados Grip, Ruta Nacional 27, sentido Caldera – San José Est. 60+000 - 76+000



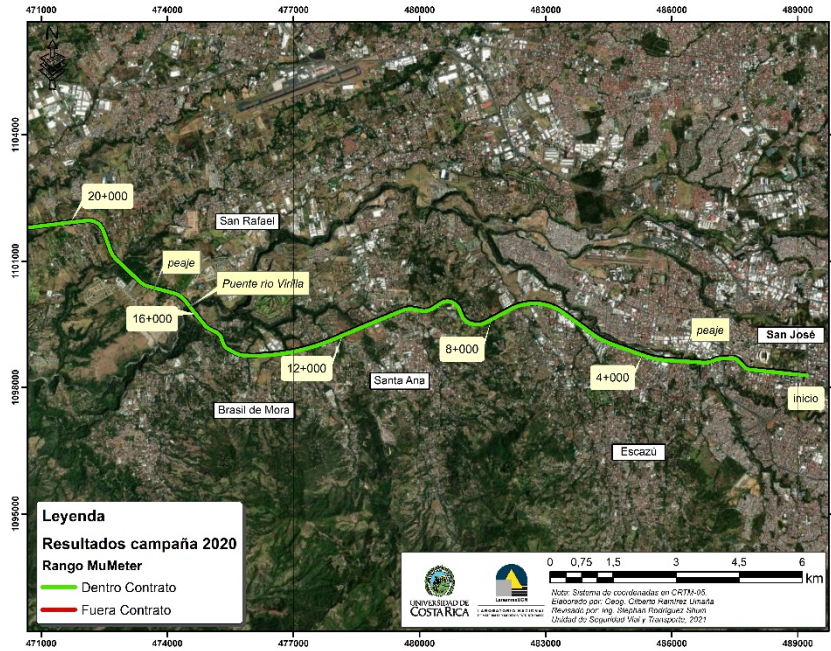


Figura A3 9. Resultados MuMeter, Ruta Nacional 27, sentido San José – Caldera Est. 0+000 - 20+000

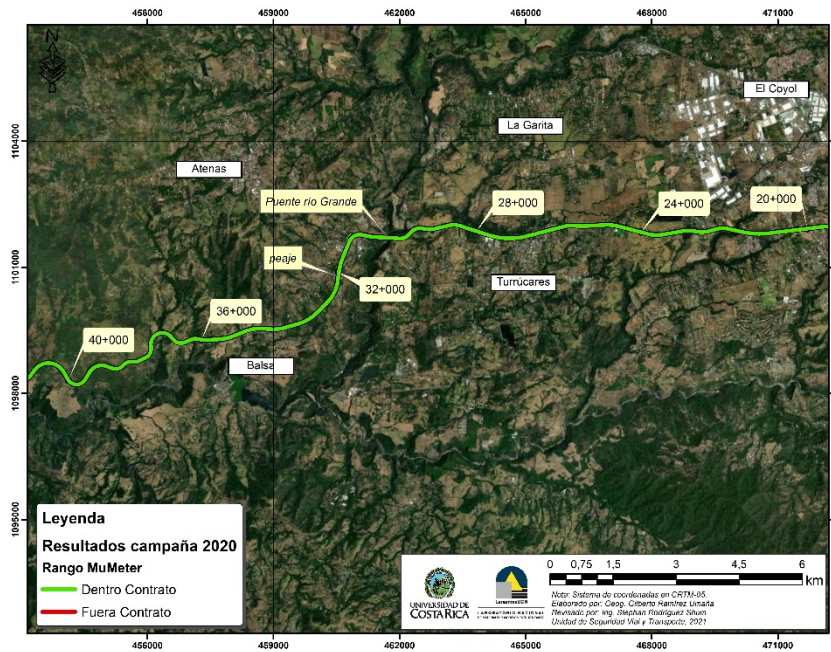


Figura A3 10. Resultados MuMeter, Ruta Nacional 27, sentido San José – Caldera Est. 20+000 - 40+000



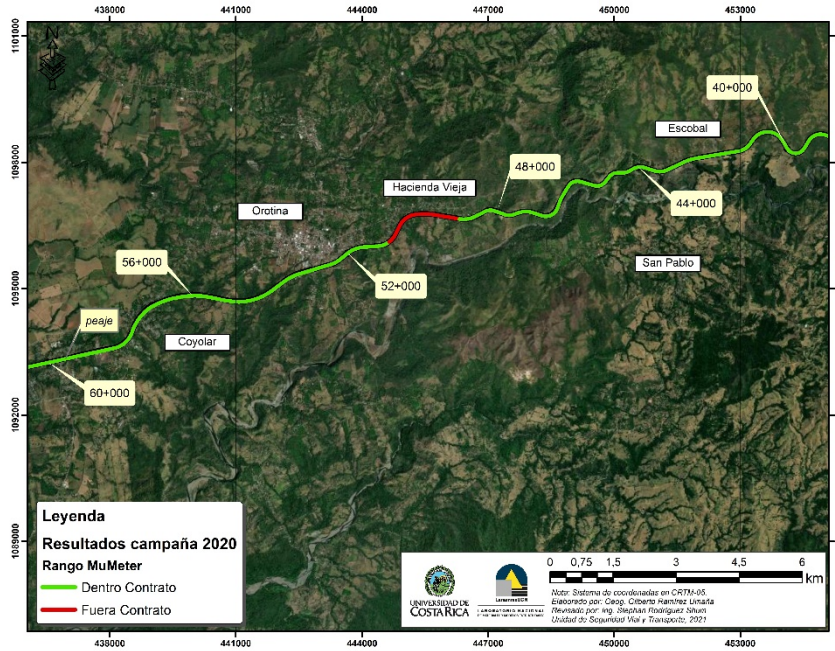


Figura A3 11. Resultados MuMeter, Ruta Nacional 27, sentido San José – Caldera Est. 40+000 - 60+000

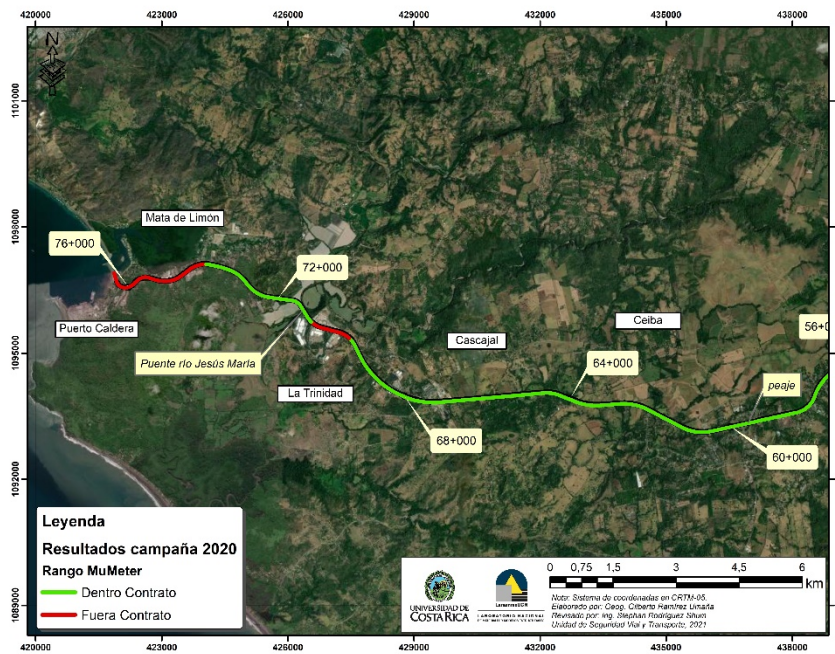


Figura A3 12. Resultados MuMeter, Ruta Nacional 27, sentido San José – Caldera Est. 60+000 - 76+000



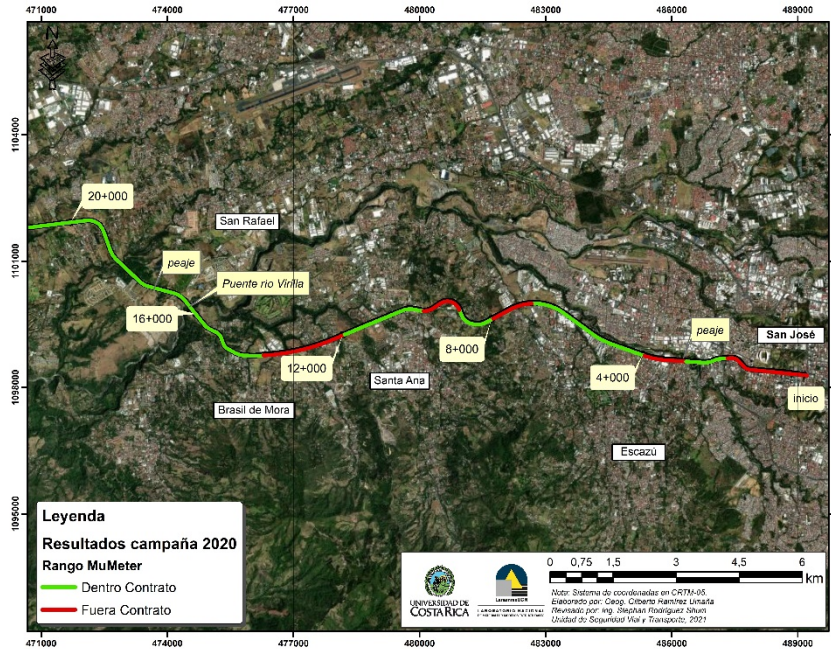


Figura A3 13. Resultados MuMeter, Ruta Nacional 27, sentido Caldera – San José Est. 0+000 - 20+000

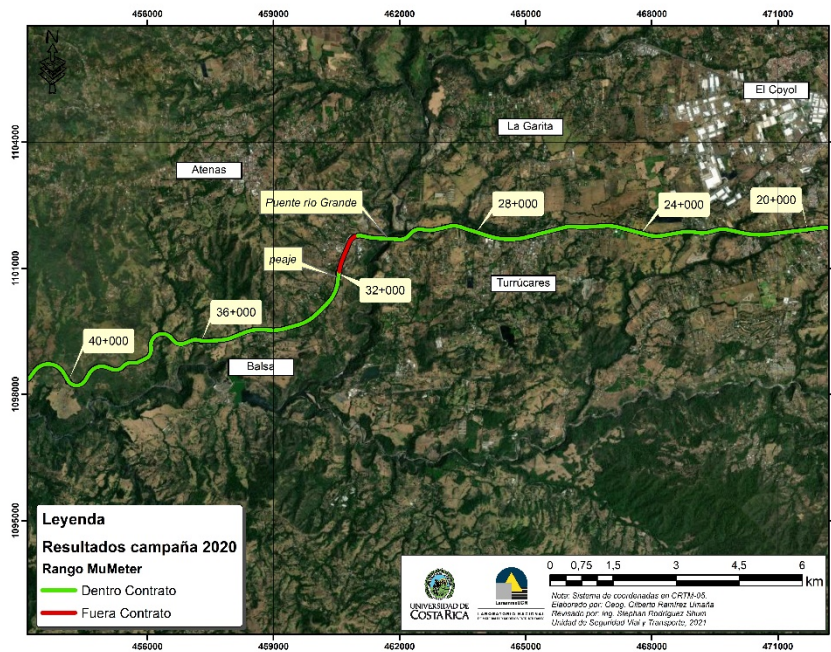


Figura A3 14. Resultados MuMeter, Ruta Nacional 27, sentido Caldera – San José Est. 20+000 - 40+000



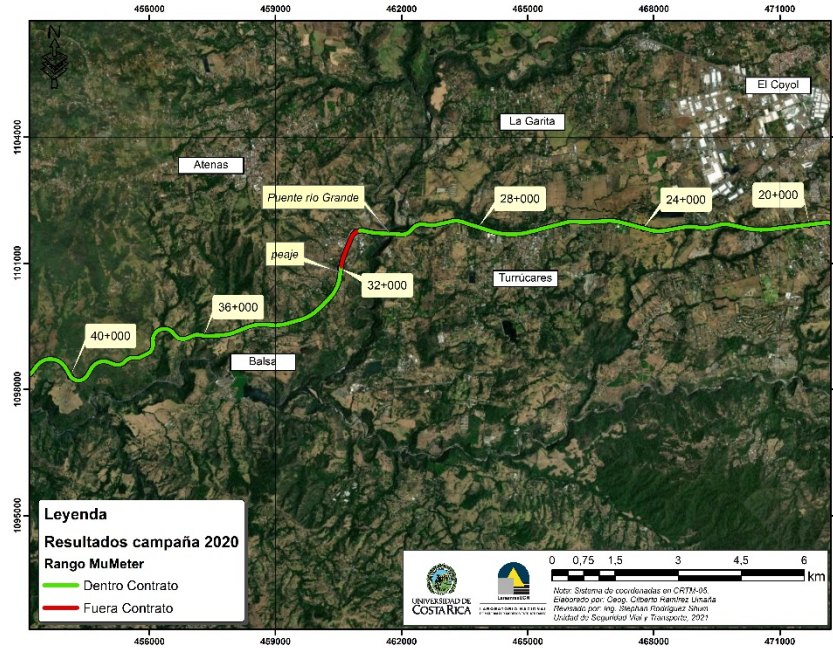


Figura A3 15. Resultados MuMeter, Ruta Nacional 27, sentido Caldera – San José Est. 40+000 - 60+000

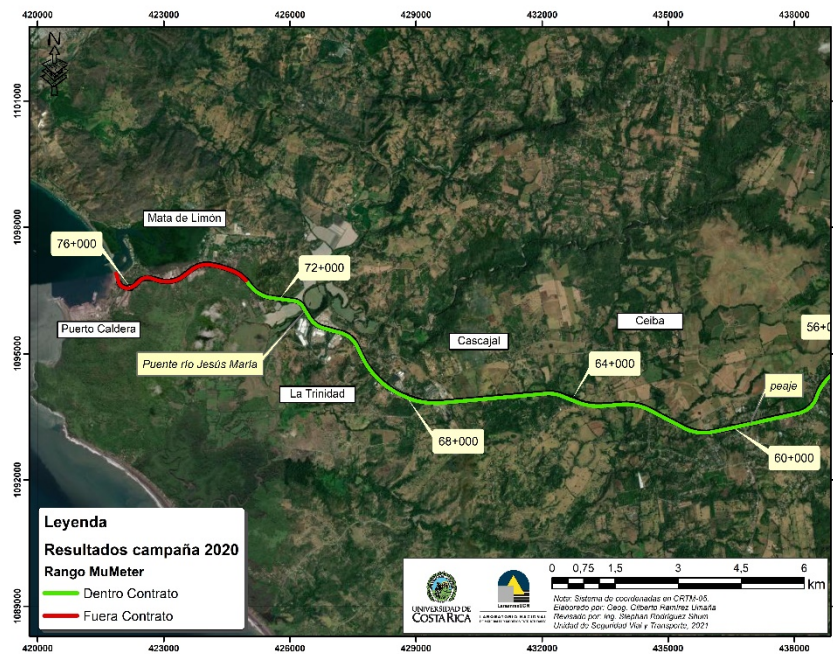


Figura A3 16. Resultados MuMeter, Ruta Nacional 27, sentido Caldera – San José Est. 60+000 - 76+000



UNIVERSIDAD DE  
COSTA RICA



LABORATORIO NACIONAL  
DE MATERIALES Y MODELOS ESTRUCTURALES

## Anexo IV: Resultados Obtenidos Notas de Calidad Q



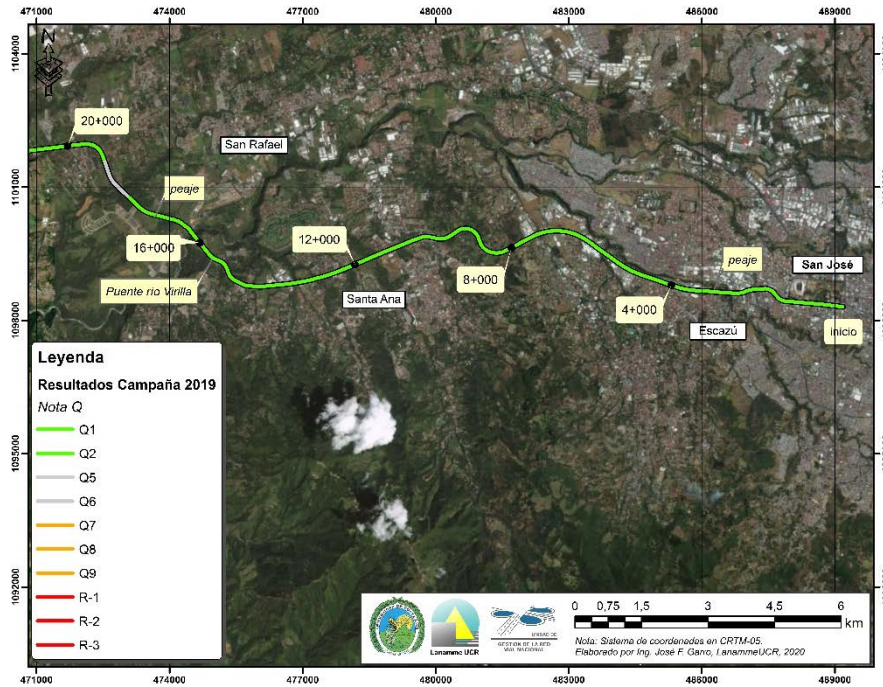


Figura A4 1. Resultados Notas Q, Ruta Nacional 27, sentido San José - Caldera Est. 0+000 - 20+000

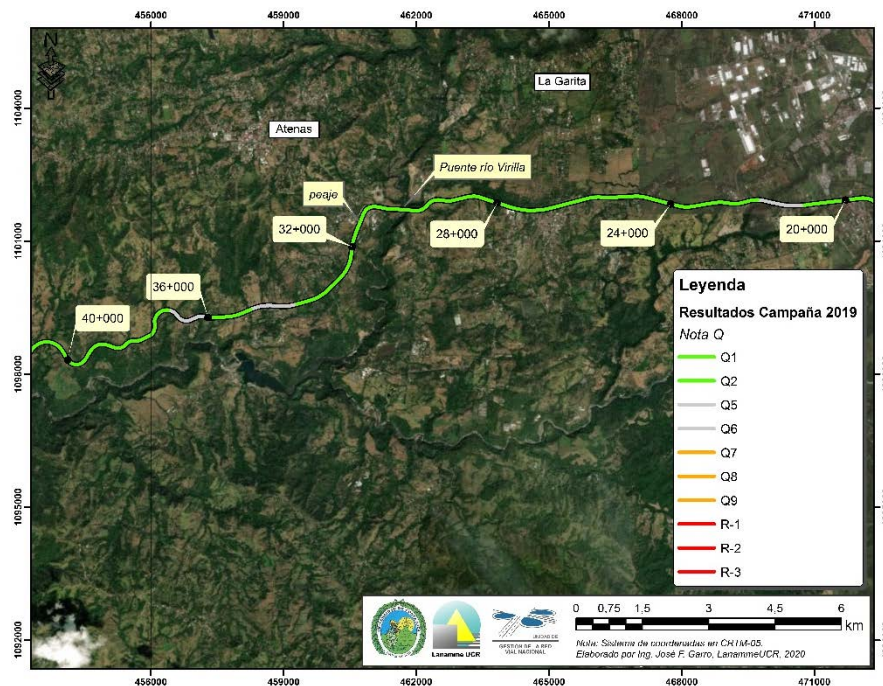


Figura A4 2. Resultados Notas Q, Ruta Nacional 27, sentido San José - Caldera Est. 20+000 - 40+000

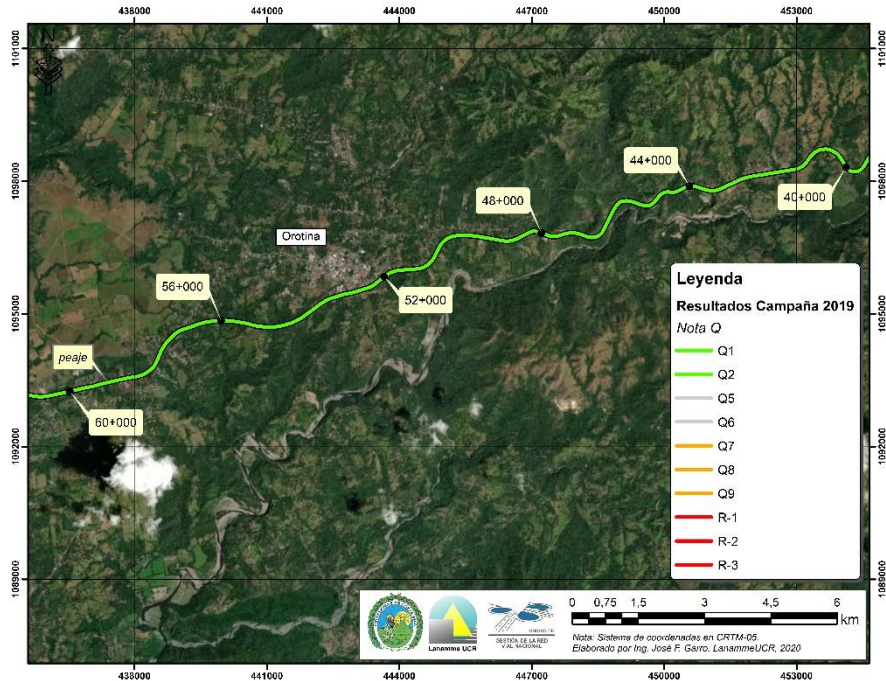


Figura A4 3. Resultados Notas Q, Ruta Nacional 27, sentido San José - Caldera Est. 40+000 - 60+000

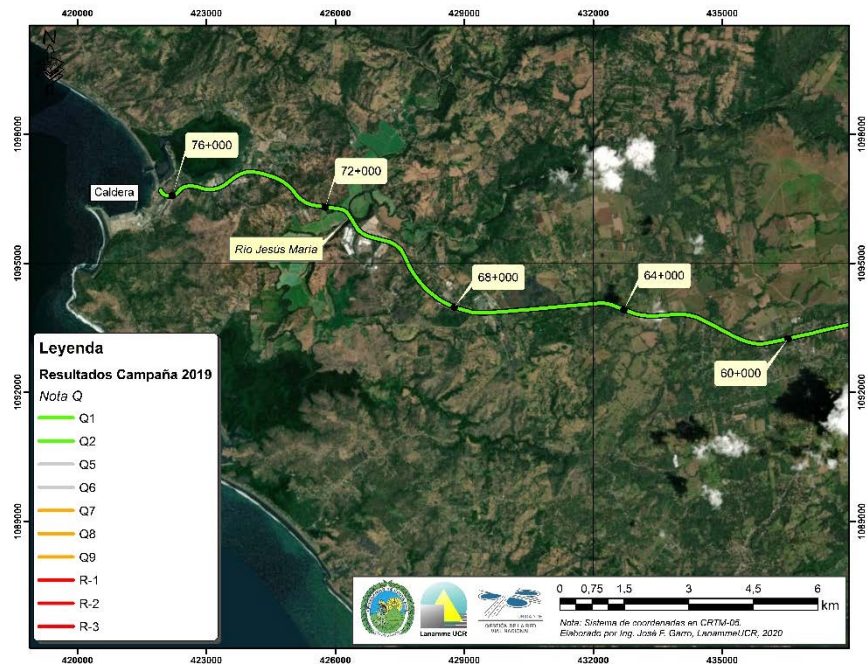


Figura A4 4. Resultados Notas Q, Ruta Nacional 27, sentido San José - Caldera Est. 60+000 - 76+000



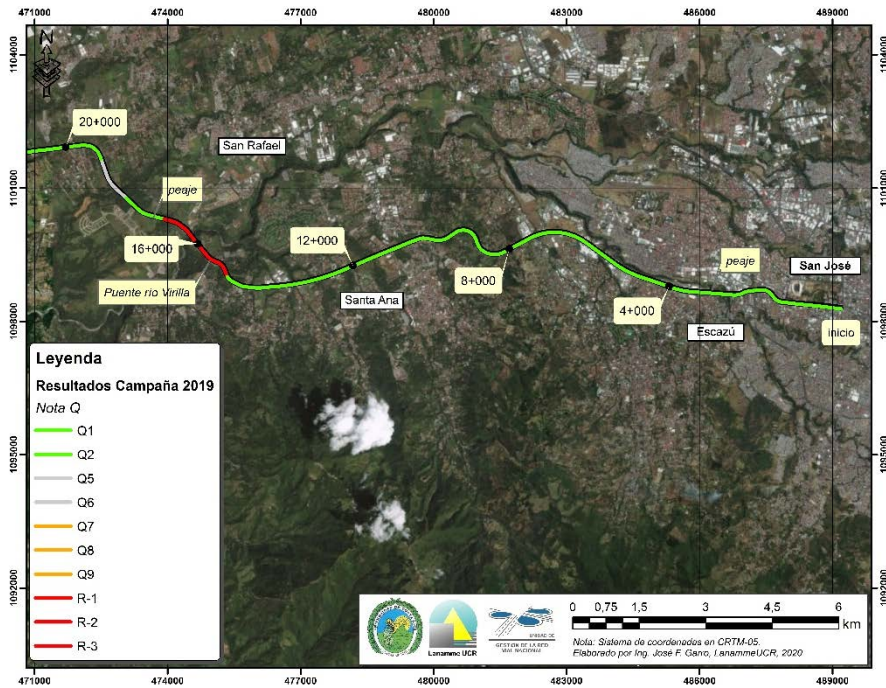


Figura A4 5. Resultados Notas Q, Ruta Nacional 27, sentido Caldera – San José Est. 0+000 - 20+000

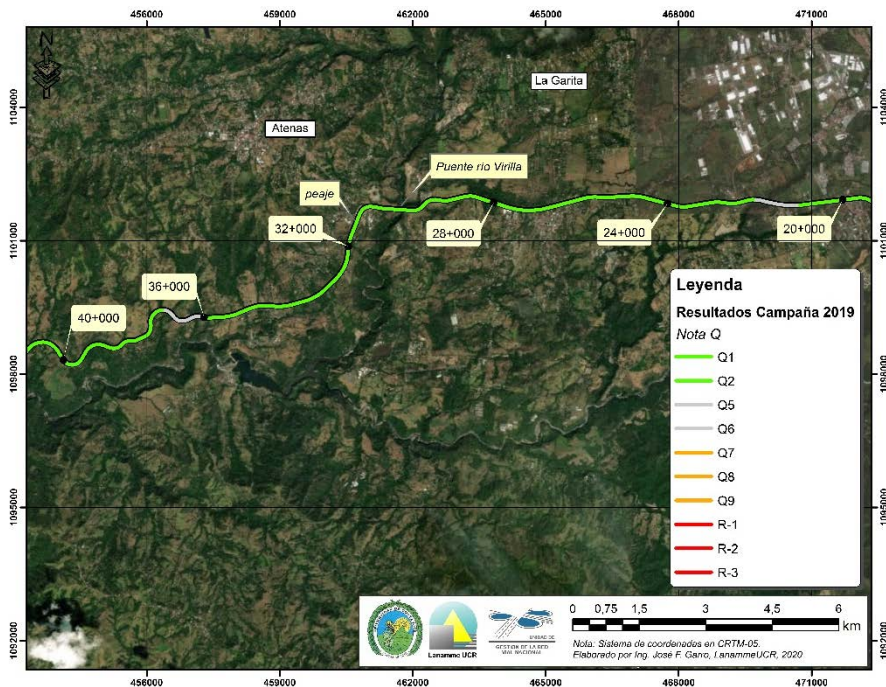


Figura A4 6. Resultados Notas Q, Ruta Nacional 27, sentido Caldera – San José Est. 20+000 - 40+000

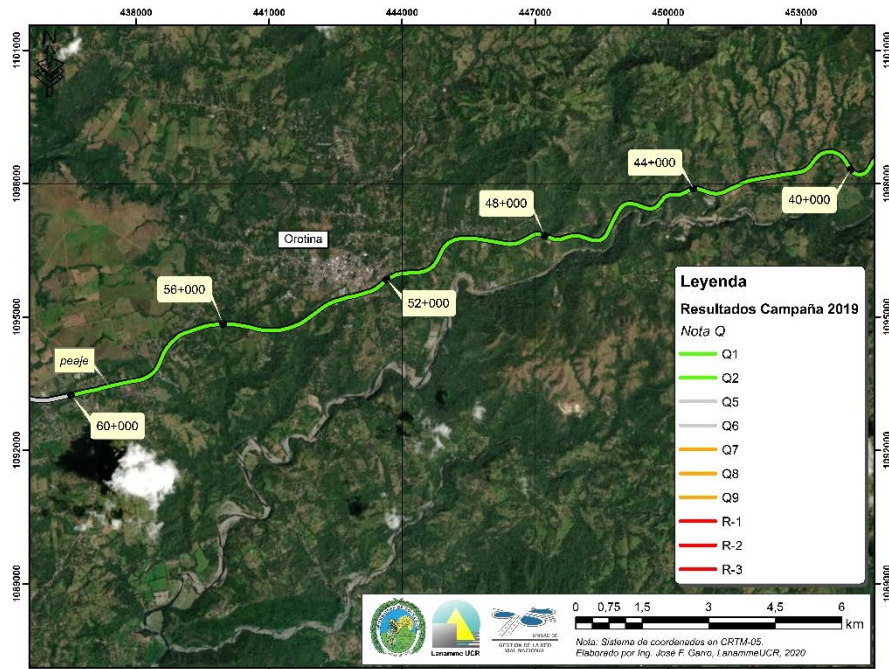


Figura A4 7. Resultados Notas Q, Ruta Nacional 27, sentido Caldera – San José Est. 40+000 - 60+000

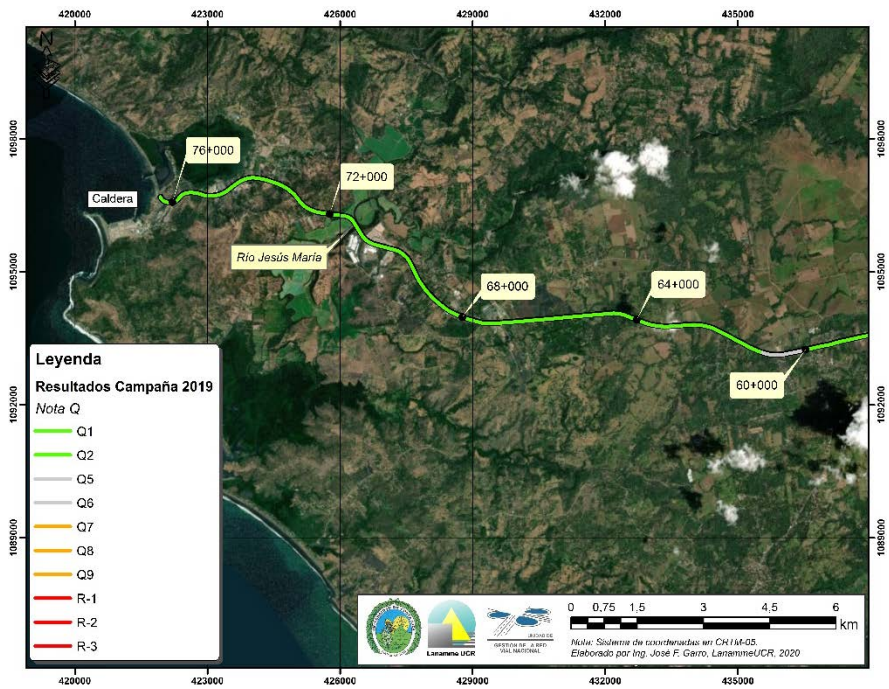


Figura A4 8. Resultados Notas Q, Ruta Nacional 27, sentido Caldera – San José Est. 60+000 - 76+000





UNIVERSIDAD DE  
COSTA RICA



LABORATORIO NACIONAL  
DE MATERIALES Y MODELOS ESTRUCTURALES

## Anexo V Resultados obtenidos para cada uno de los parámetros evaluados en las Radiales

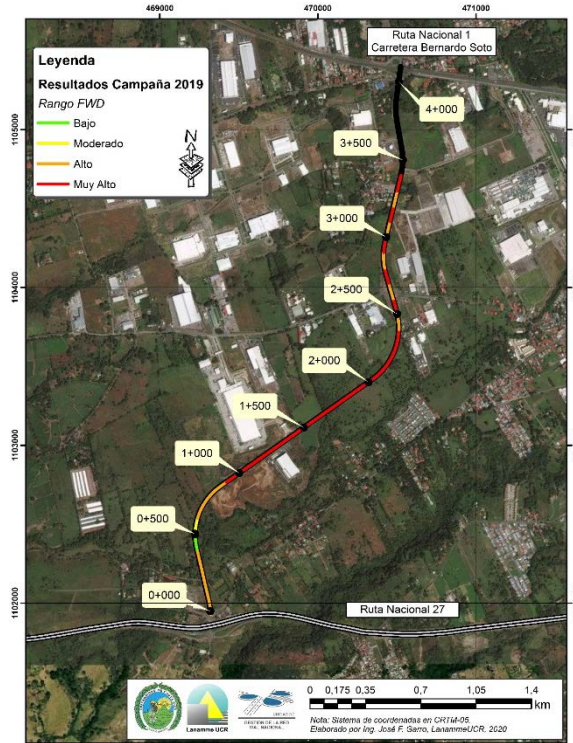


Figura A5 1. Resultados FWD, Radial El Coyol, sentido Ruta Nacional 27 - El Coyol

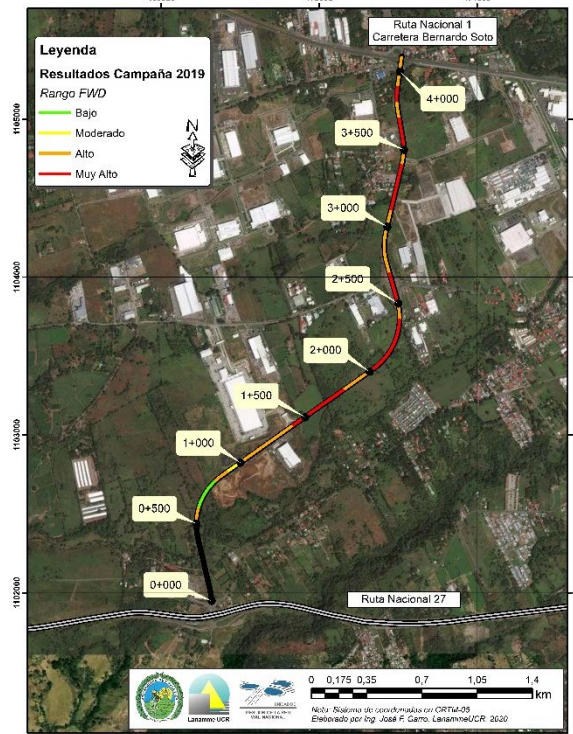


Figura A5 2. Resultados FWD, Radial El Coyol, sentido El Coyol - Ruta Nacional 27

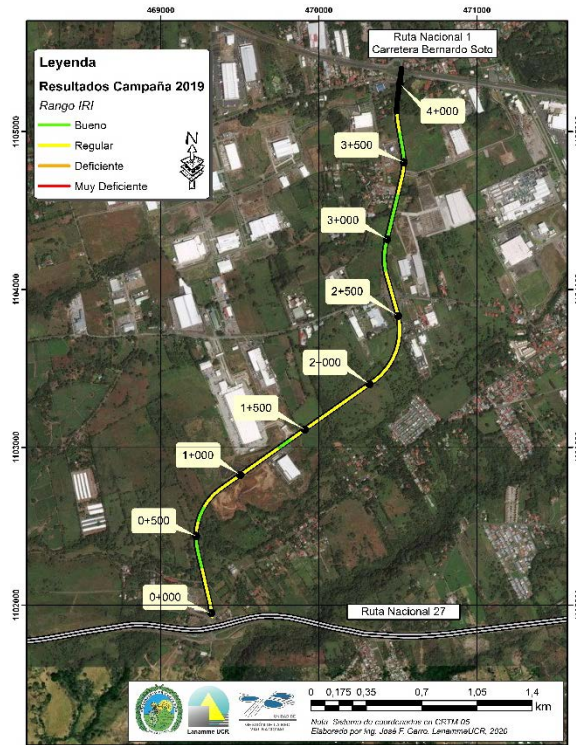


Figura A5 3. Resultados IRI, Radial El Coyol, sentido Ruta Nacional 27 - El Coyol

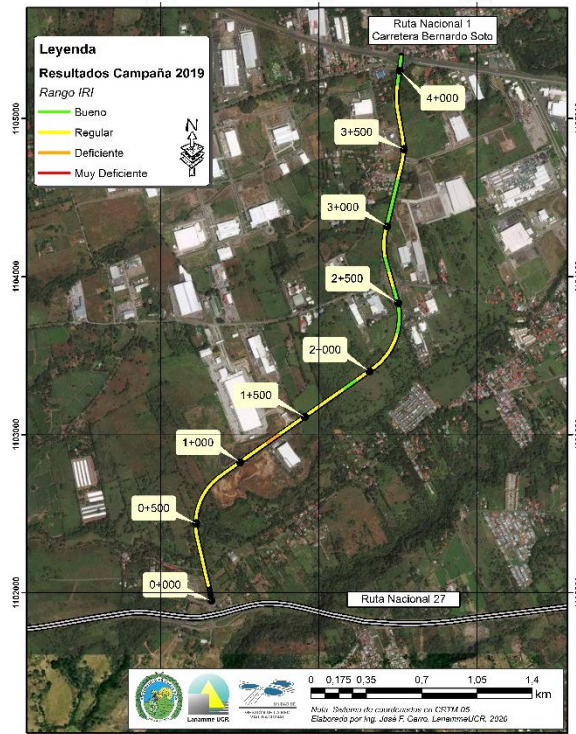


Figura A5 4. Resultados IRI, Radial El Coyol, sentido El Coyol - Ruta Nacional 27



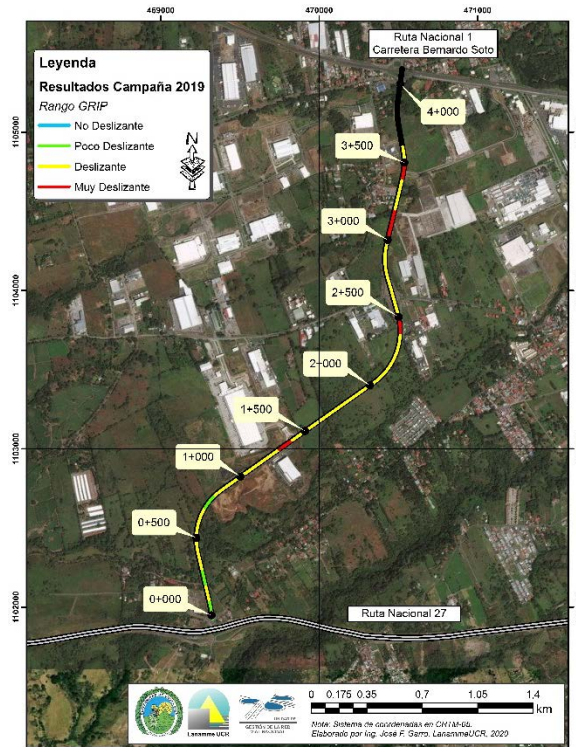


Figura A5 5. Resultados GRIP, Radial El Coyal, sentido Ruta Nacional 27 - El Coyal

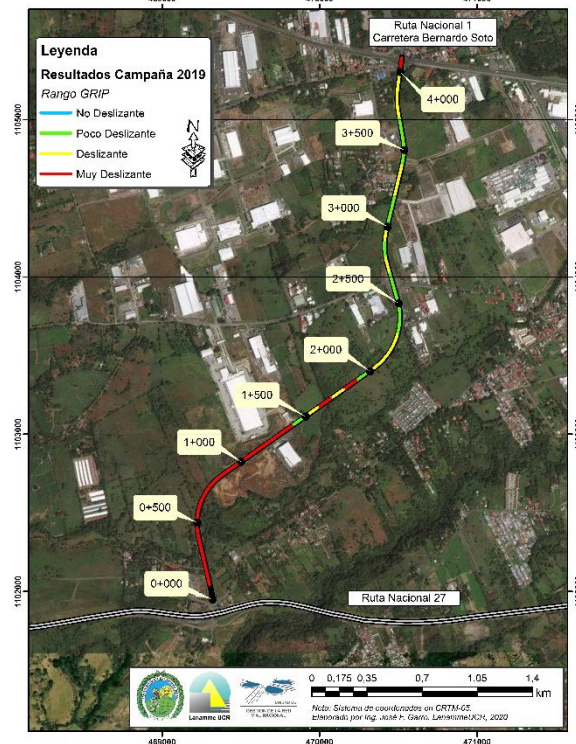


Figura A5 6. Resultados GRIP, Radial El Coyal, sentido El Coyal - Ruta Nacional 27



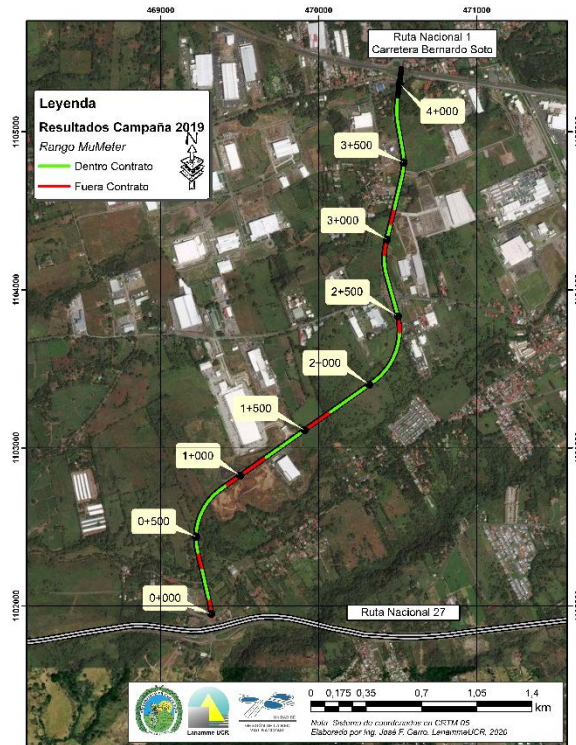


Figura A5 7. Resultados MuMeter, Radial El Coyal, sentido Ruta Nacional 27 – El Coyal

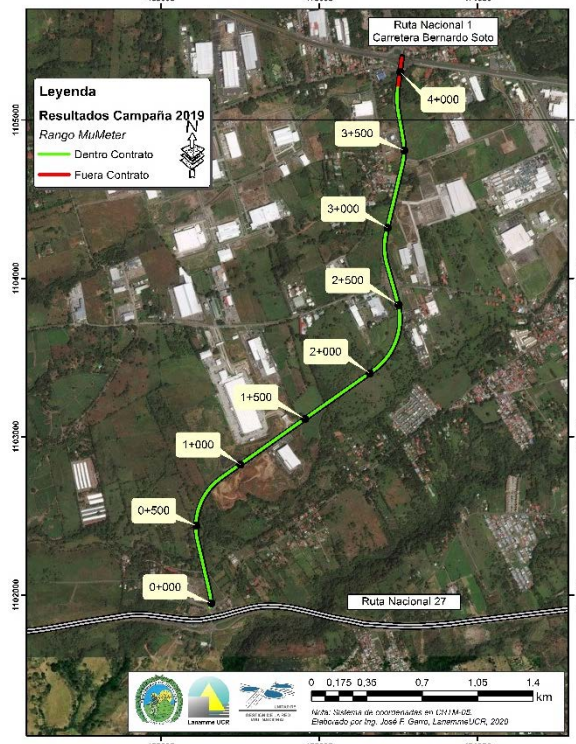


Figura A5 8. Resultados MuMeter, Radial El Coyal, sentido El Coyal - Ruta Nacional 27

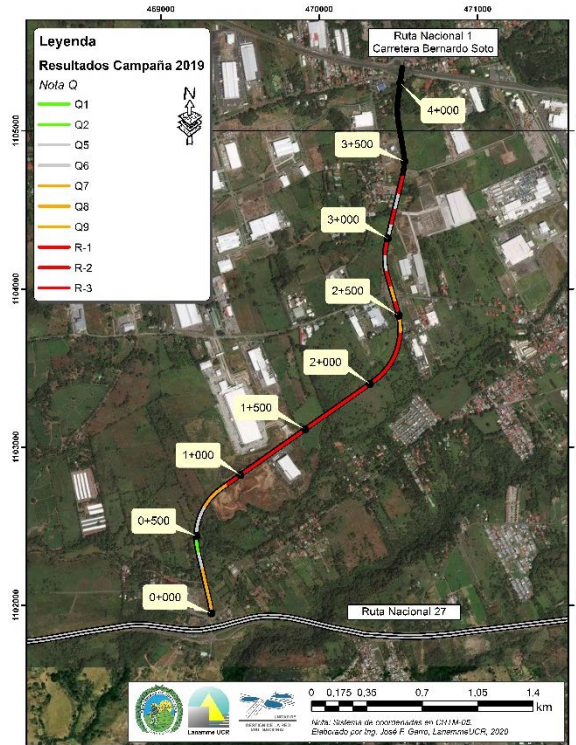


Figura A5 9. Resultados Notas Q, Radial El Coyal, sentido Ruta Nacional 27 - El Coyal

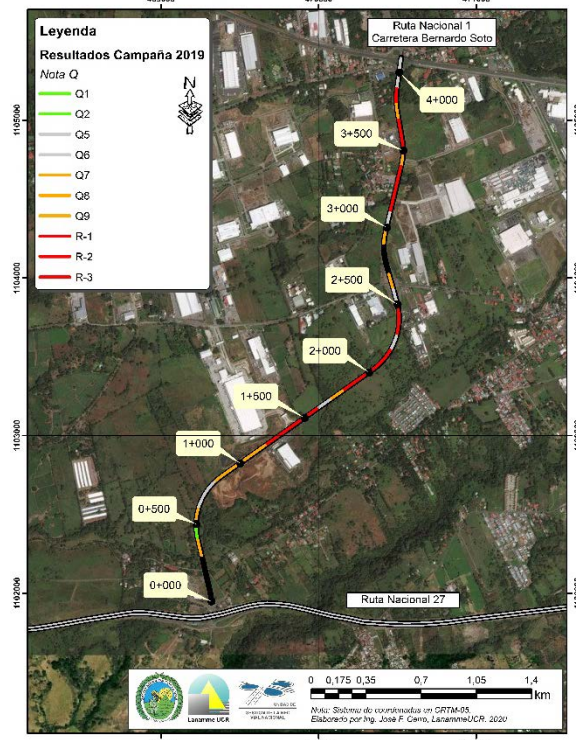


Figura A5 10. Resultados Notas Q, Radial El Coyal, sentido El Coyal - Ruta Nacional 27



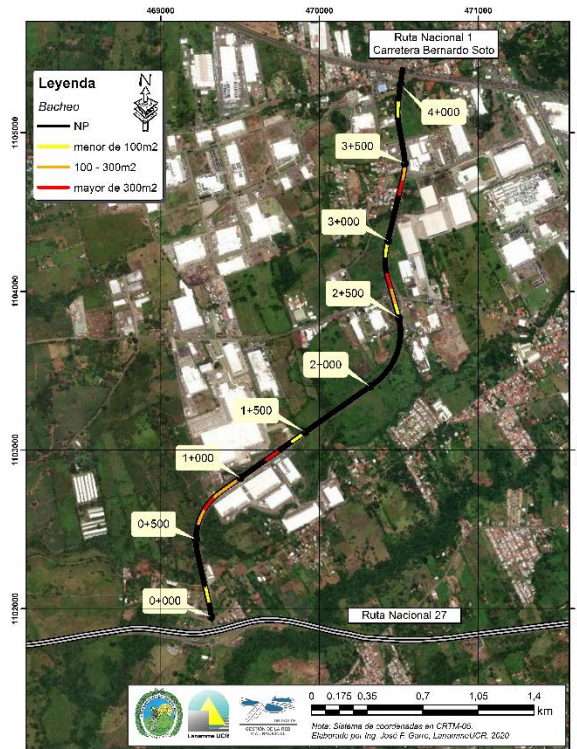


Figura A5 11. Resultados Bacheo, Radial El Coyal, sentido Ruta Nacional 27 - El Coyal

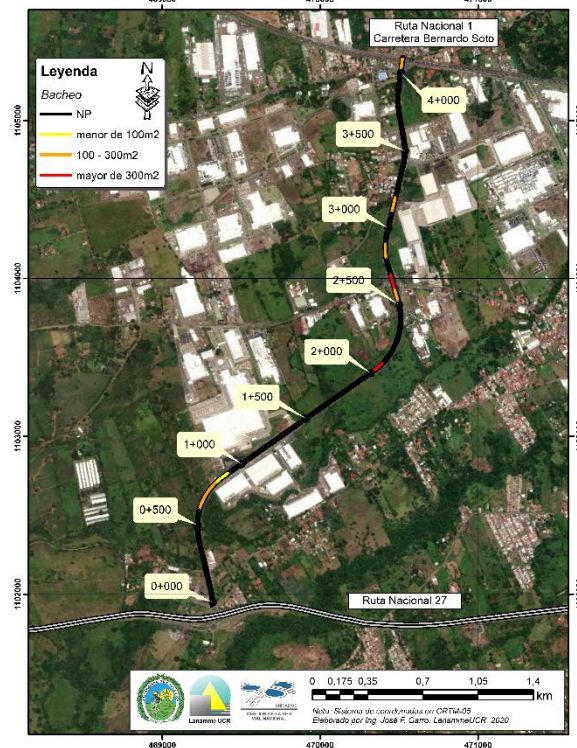


Figura A5 12. Resultados Bacheo, Radial El Coyal, sentido El Coyal - Ruta Nacional 27

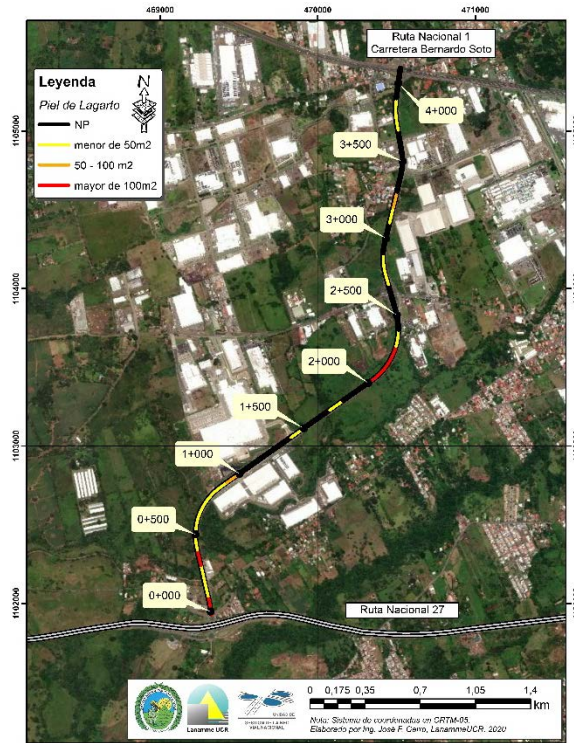


Figura A5 13. Resultados Piel de Lagarto, Radial El Coyal, sentido Ruta Nacional 27 - El Coyal

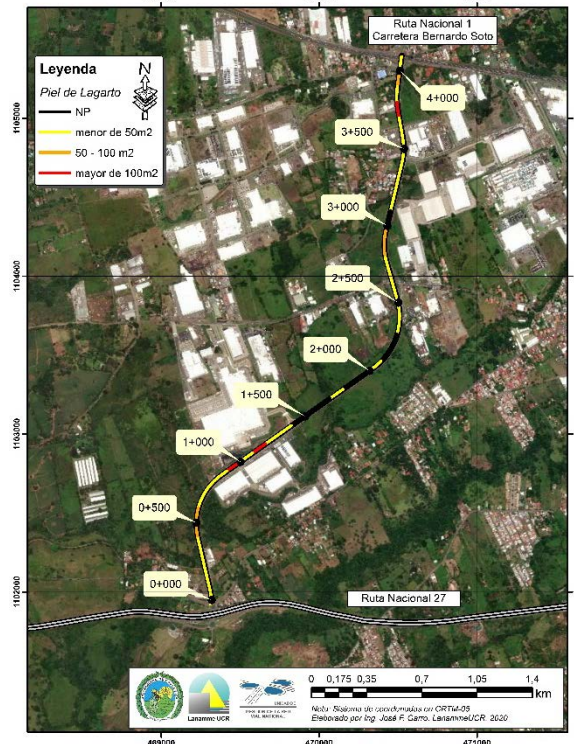


Figura A5 14. Resultados Piel de Lagarto, Radial El Coyal, sentido El Coyal - Ruta Nacional 27



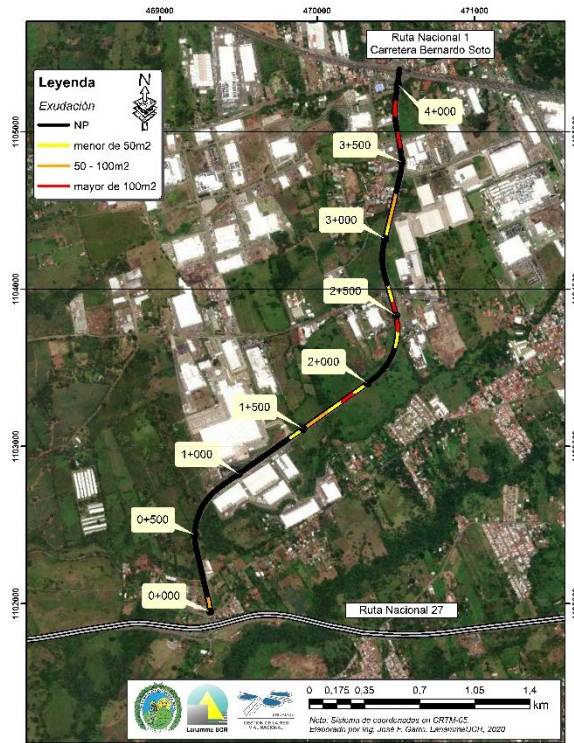


Figura A5 15. Resultados Exudación, Radial El Coyo, sentido Ruta Nacional 27 – El Coyo

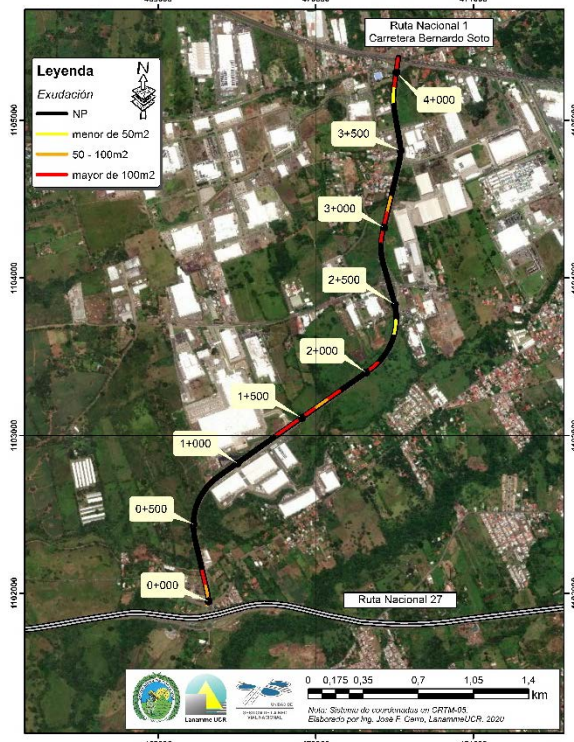


Figura A5 16. Resultados Exudación, Radial El Coyo, sentido El Coyo – Ruta Nacional 27

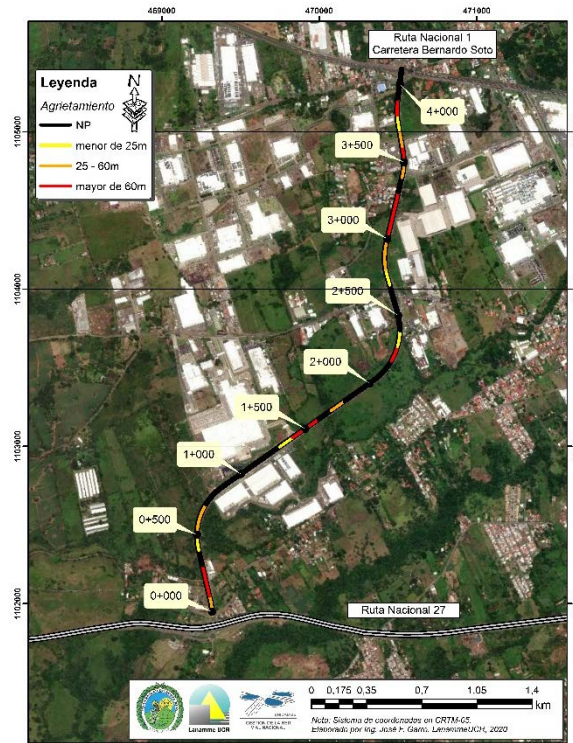


Figura A5 17. Resultados Agrietamiento, Radial El Coyol, sentido El Coyol – Ruta Nacional 27

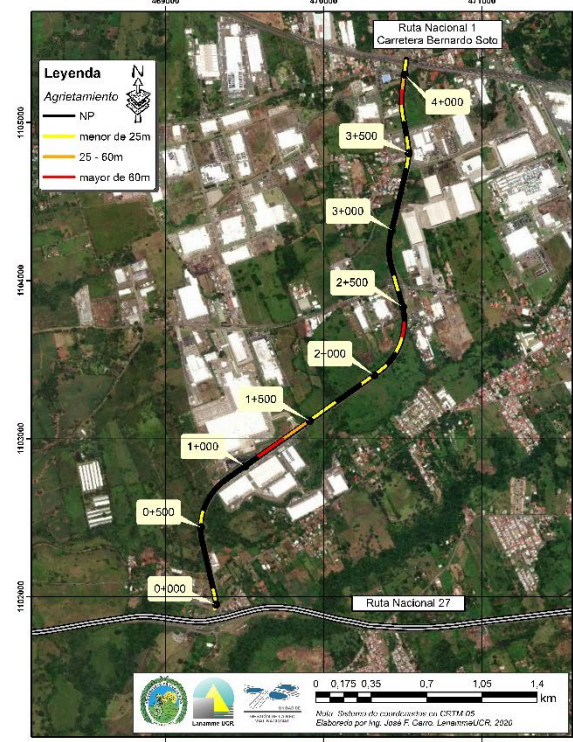


Figura A5 18. Resultados Agrietamiento, Radial El Coyol, sentido Ruta Nacional 27 – El Coyol



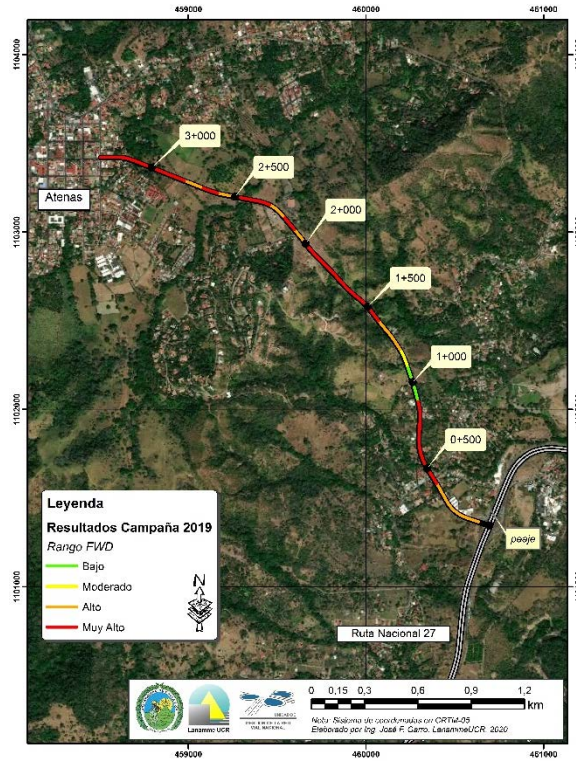


Figura A5 19. Resultados FWD, Radial Atenas, sentido Ruta Nacional 27 - Atenas

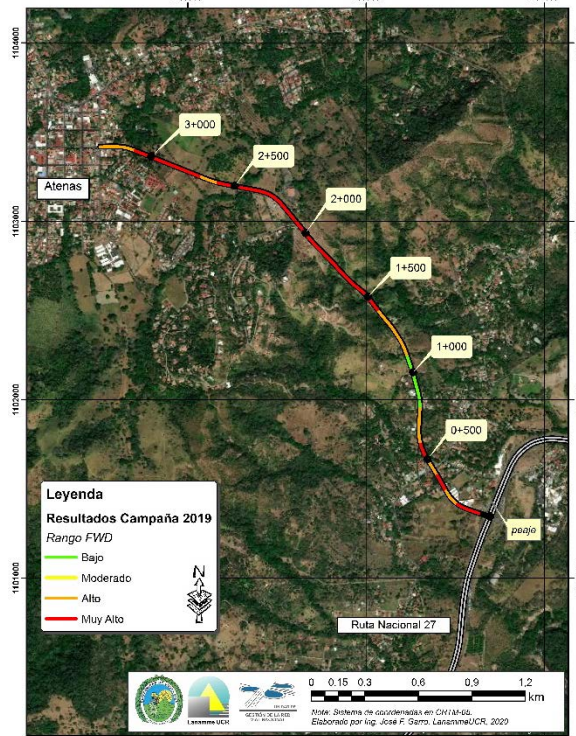


Figura A5 20. Resultados FWD, Radial Atenas, sentido Atenas - Ruta Nacional 27

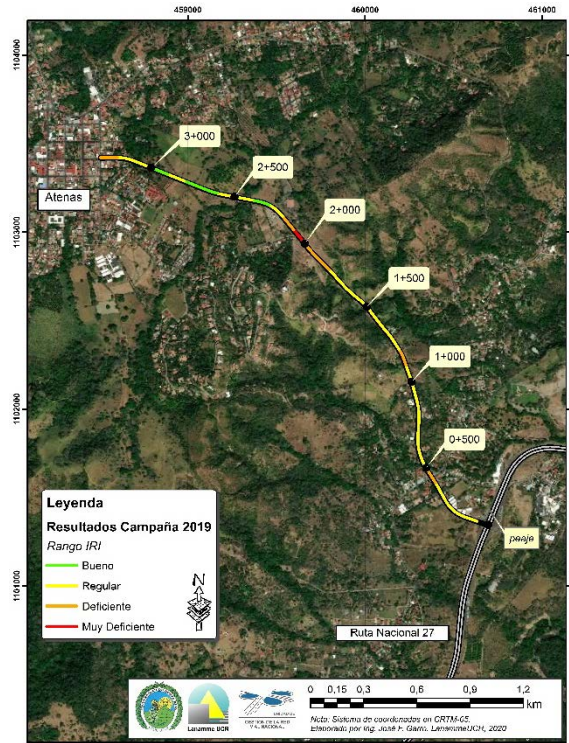


Figura A5 21. Resultados IRI, Radial Atenas, sentido Ruta Nacional 27 - Atenas

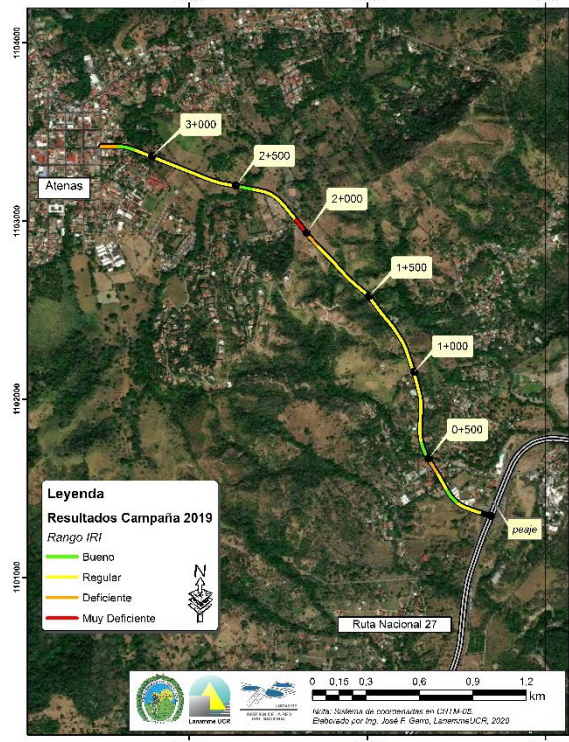


Figura A5 22 Resultados IRI, Radial Atenas, sentido Atenas - Ruta Nacional 27



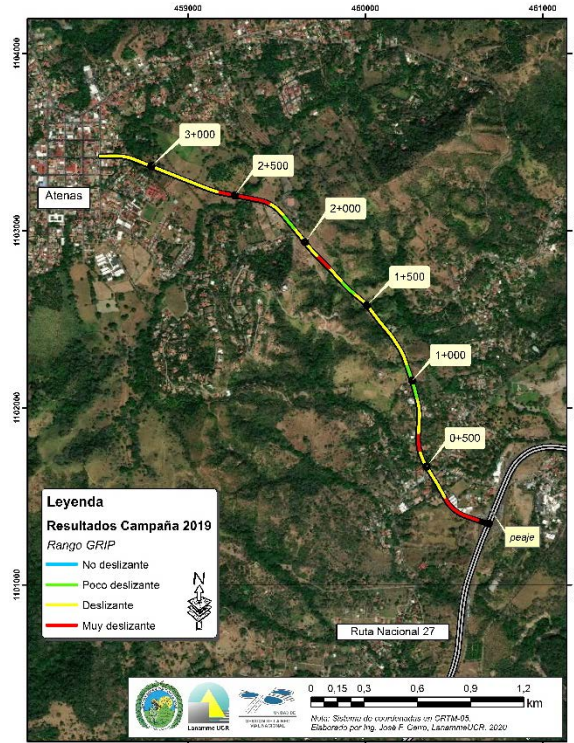


Figura A5 23. Resultados GRIP, Radial Atenas, sentido Ruta Nacional 27 - Atenas

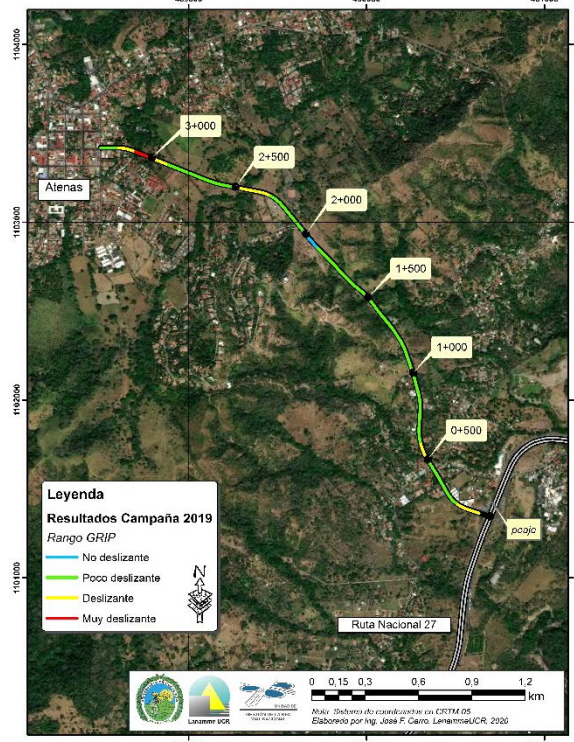


Figura A5 24. Resultados GRIP, Radial Atenas, sentido Atenas - Ruta Nacional 27

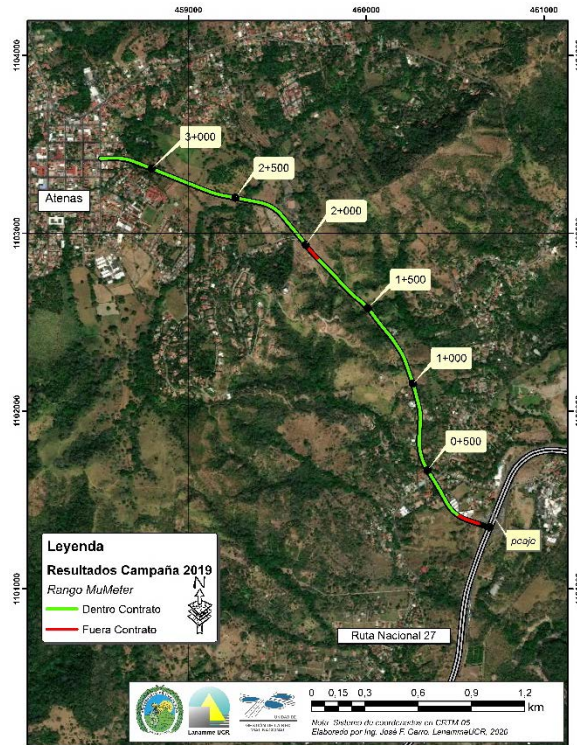


Figura A5 25. Resultados MuMeter, Radial Atenas, sentido Ruta Nacional 27 - Atenas

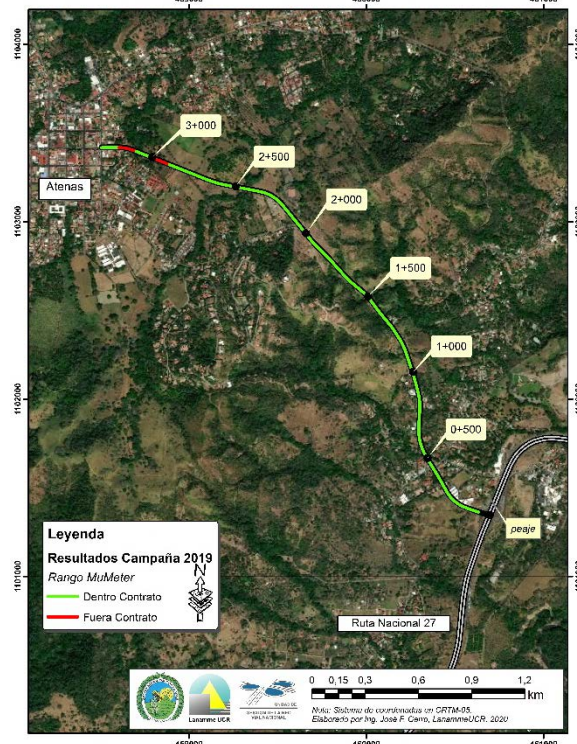


Figura A5 26. Resultados MuMeter, Radial Atenas, sentido Atenas - Ruta Nacional 27



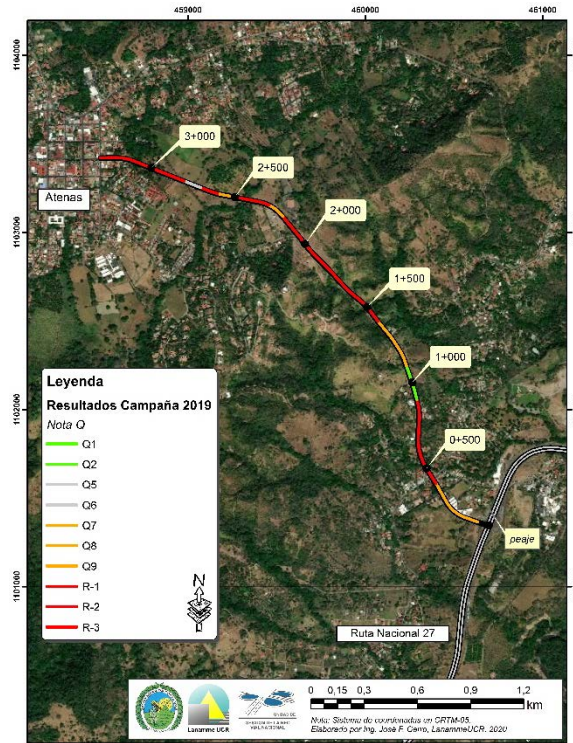


Figura A5 27. Resultados Notas Q, Radial Atenas, sentido Ruta Nacional 27 - Atenas

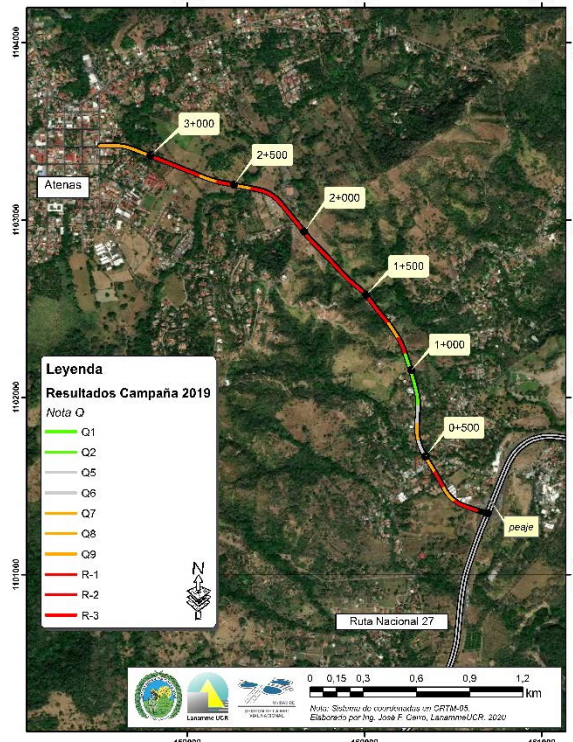


Figura A5 28. Resultados Notas Q, Radial Atenas, sentido Atenas - Ruta Nacional 27

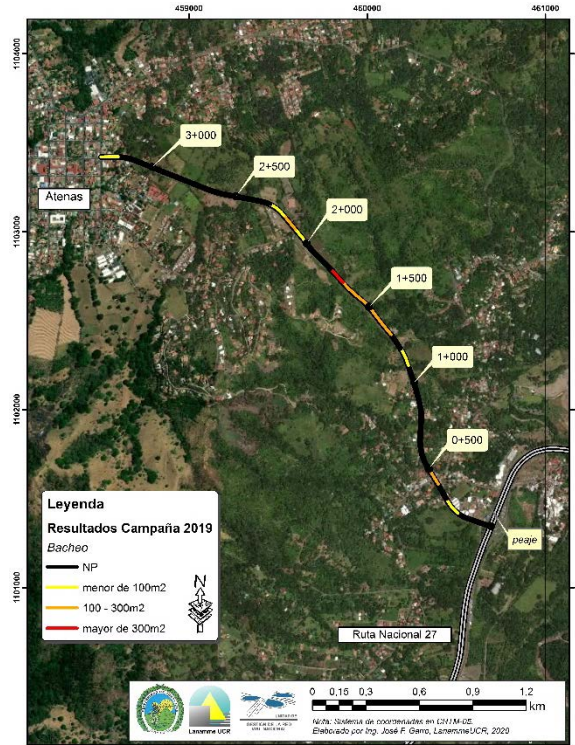


Figura A5 29. Resultados Bacheo, Radial Atenas, sentido Ruta Nacional 27 - Atenas

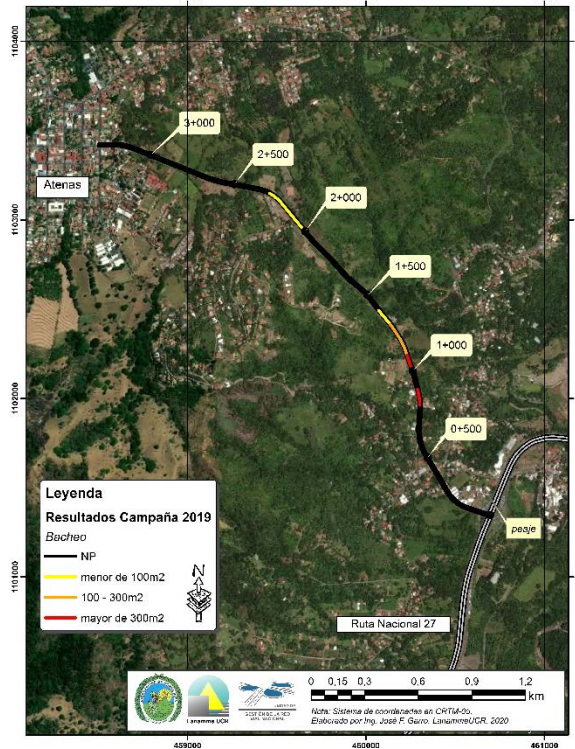


Figura A5 30. Resultados Bacheo, Radial Atenas, sentido Atenas - Ruta Nacional 27



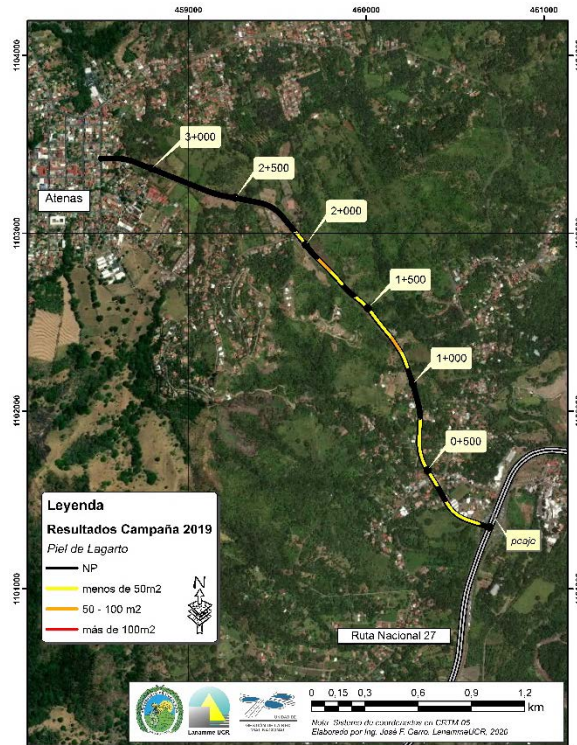


Figura A5 31. Resultados Piel de Lagarto, Radial Atenas, sentido Ruta Nacional 27 - Atenas

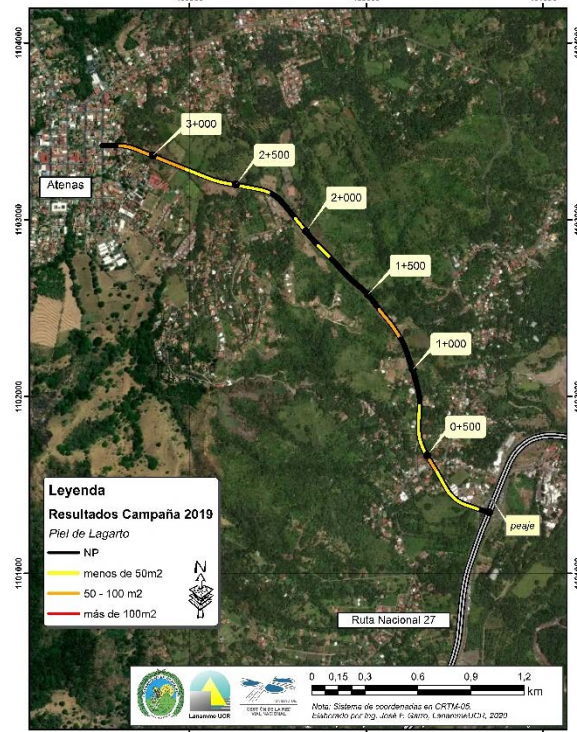


Figura A5 32. Resultados Piel de Lagarto, Radial Atenas, sentido Atenas - Ruta Nacional 27

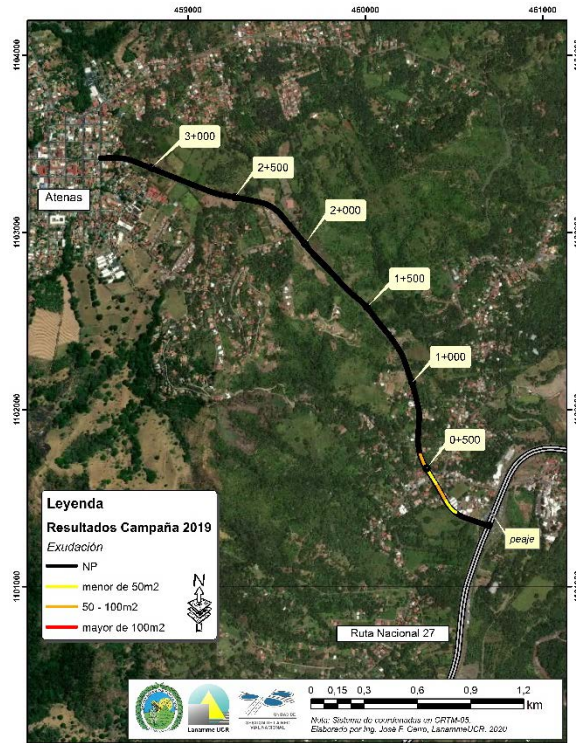


Figura A5 33. Resultados Exudación, Radial Atenas, sentido Ruta Nacional 27 – Atenas

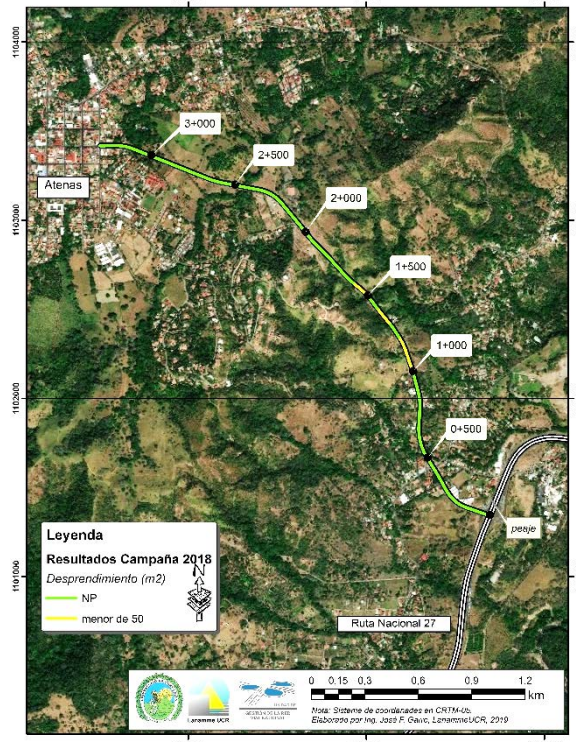


Figura A5 34. Resultados Desprendimiento, Radial Atenas, sentido Atenas – Ruta Nacional 27



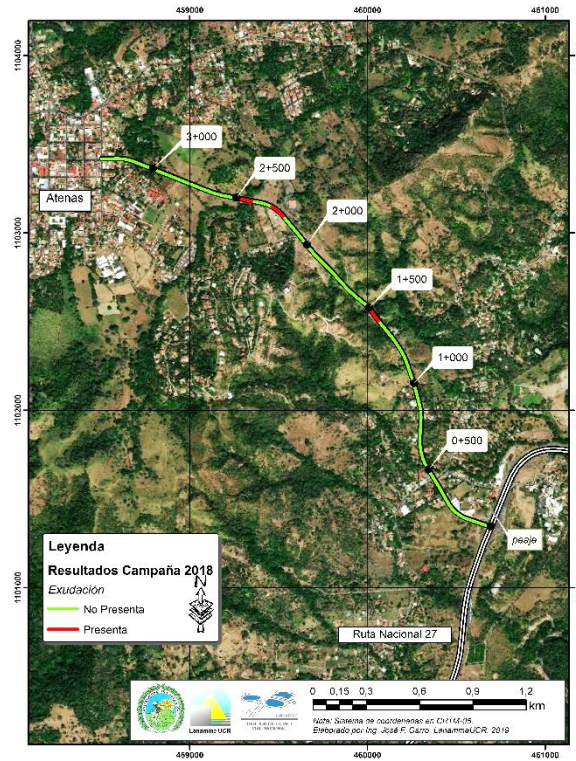


Figura A5 35. Resultados Exudación, Radial Atenas, sentido Atenas – Ruta Nacional 27

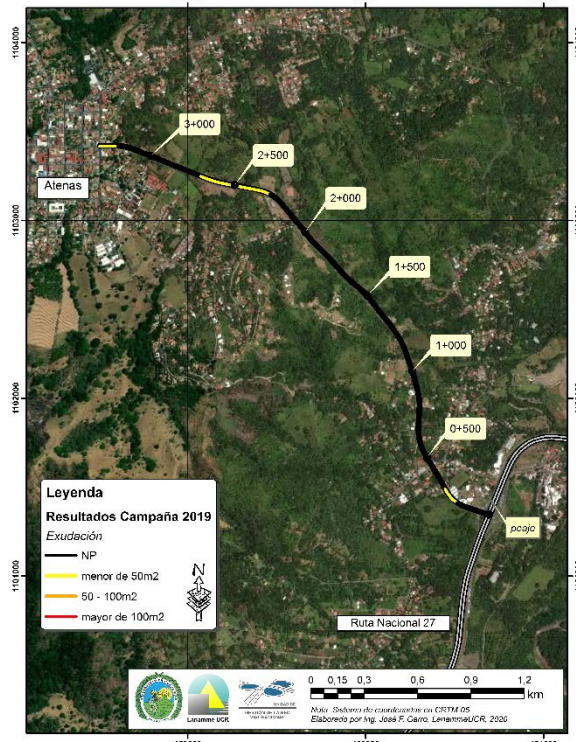


Figura A5 36. Resultados Exudación, Radial Atenas, sentido Ruta Nacional 27 – Atenas

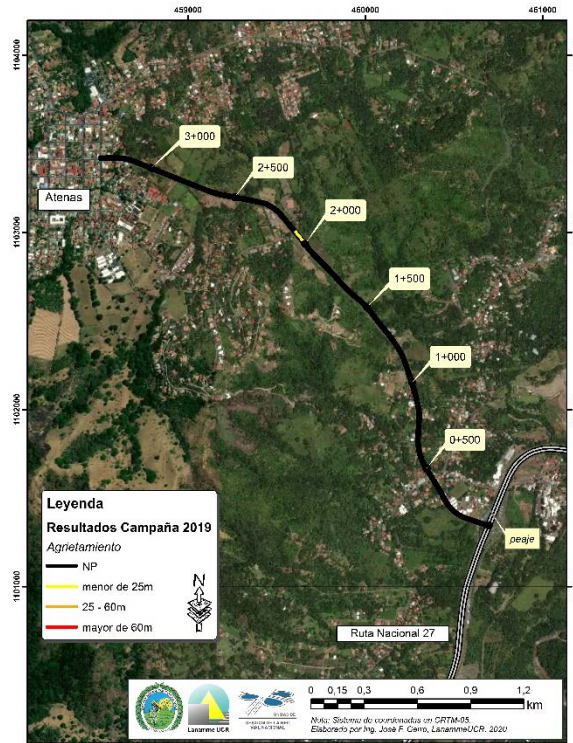


Figura A5 37. Resultados Agrietamiento, Radial Atenas, sentido Ruta Nacional 27 – Atenas

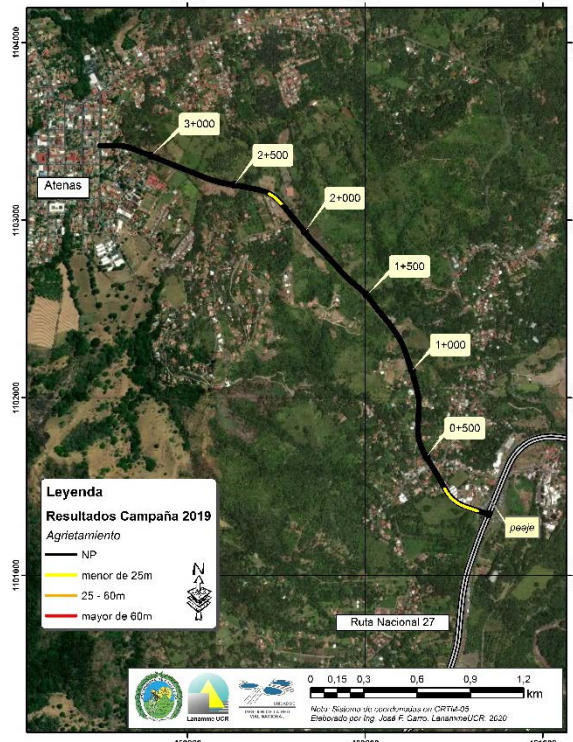


Figura A5 38. Resultados Agrietamiento, Radial Atenas, sentido Atenas – Ruta Nacional 27





UNIVERSIDAD DE  
COSTA RICA

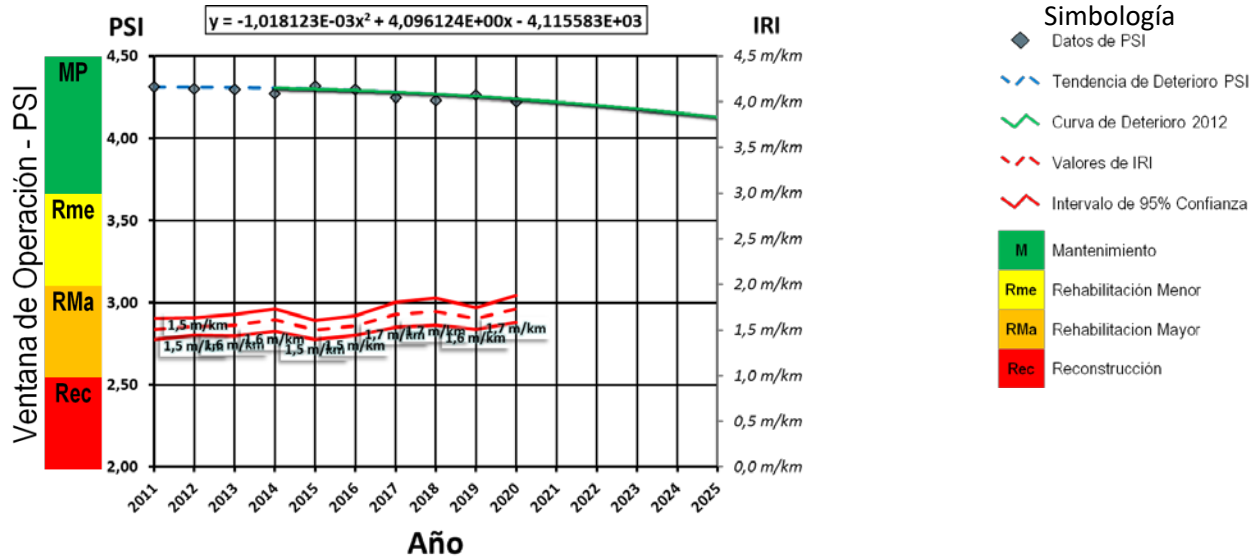


LABORATORIO NACIONAL  
DE MATERIALES Y MODELOS ESTRUCTURALES

## Anexo VI Modelo de Deterioro para la Ruta Nacional 27 San José – Caldera



Modelo de Deterioro - PSI CR						
Ruta:	Sección:	Red:	TPD 2013:	Longitud:	Pavimento:	Lastre:
27	1,1	Concesión	88000	3,61 km	100%	0%



Ecuación general	Tendencia	Curva de Deterioro 2020			Intervenciones
$Y = A \cdot (X_{año})^2 + B \cdot (X_{año}) + C$	R <sup>2</sup> : 0,6043	A: -1,0181230E-03	B: 4,0961243E+00	C: -4,1155830E+03	0

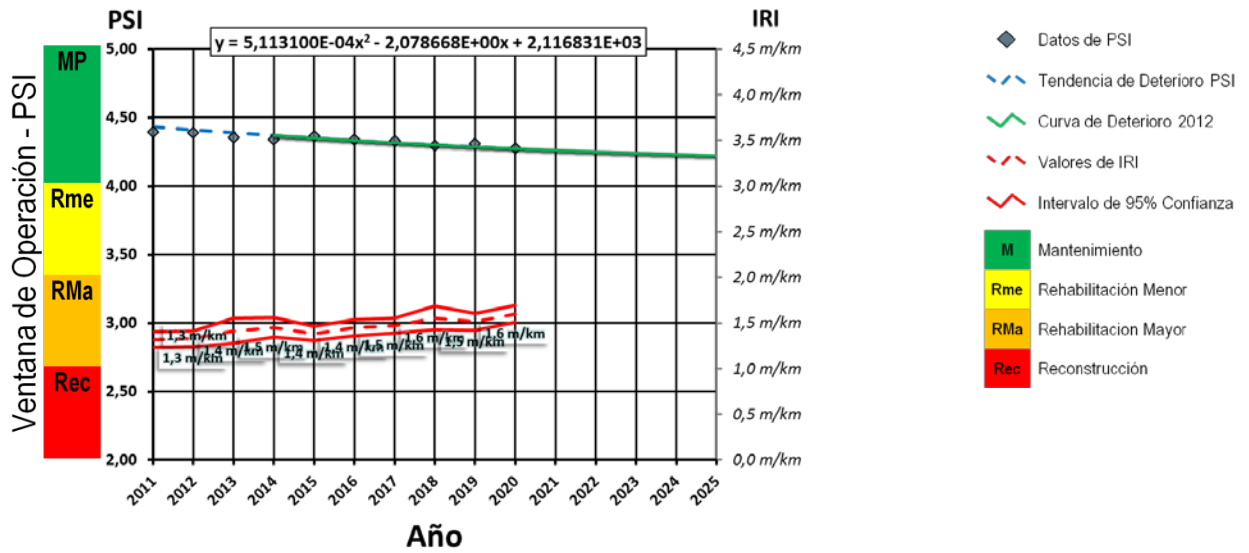
Datos								
Año	n	S (m/km)	Curtosis	IRI (m/km)	Intervalo 95% (m/km)	PSI	Nota Q	Estrategia Recomendada
2011	29	0,32	-1,16	1,51	0,12	4,31	Q2	ChS3(TS3)
2012	35	0,30	-1,19	1,54	0,10	4,30	Q2	ChS3(TS3)
2013	34	0,36	3,48	1,55	0,12	4,30	Q1	ChS1(TS1)
2014	34	0,36	-1,15	1,61	0,12	4,27	Q2	ChS3(TS3)
2015	31	0,29	-0,85	1,50	0,10	4,32	Q1	ChS1(TS1)
2016	33	0,31	-1,10	1,55	0,11	4,30	0	0
2017	36	0,42	-0,22	1,67	0,14	4,25	Q1	SS,ChS1(TS1)
2018	36	0,45	0,57	1,70	0,15	4,23	Q1	ChS2(TS2),ChS3(TS3),Slurry
2019	36	0,36	-0,39	1,63	0,12	4,26	Q1	ChS2(TS2),ChS3(TS3),Slurry
2020	36	0,46	-0,58	1,73	0,15	4,22	Q1	0

Ubicación		
Provincia	SAN JOSE	
Cantón	ESCAZÚ	
0+000 A 03+605		



Modelo de Deterioro – PSI CR

Ruta:	Sección:	Red:	TPD 2013:	Longitud:	Pavimento:	Lastre:
27	2,1	Concesión	16000	10,42 km	100%	0%



Ecuación general	Tendencia	Curva de Deterioro 2020			Intervenciones
$Y = A \cdot (X_{año})^2 + B \cdot (X_{año}) + C$	R <sup>2</sup> : 0,8860	A: 5,1131000E-04	B: -2,0756000E+00	C: 2,1106000E+03	0

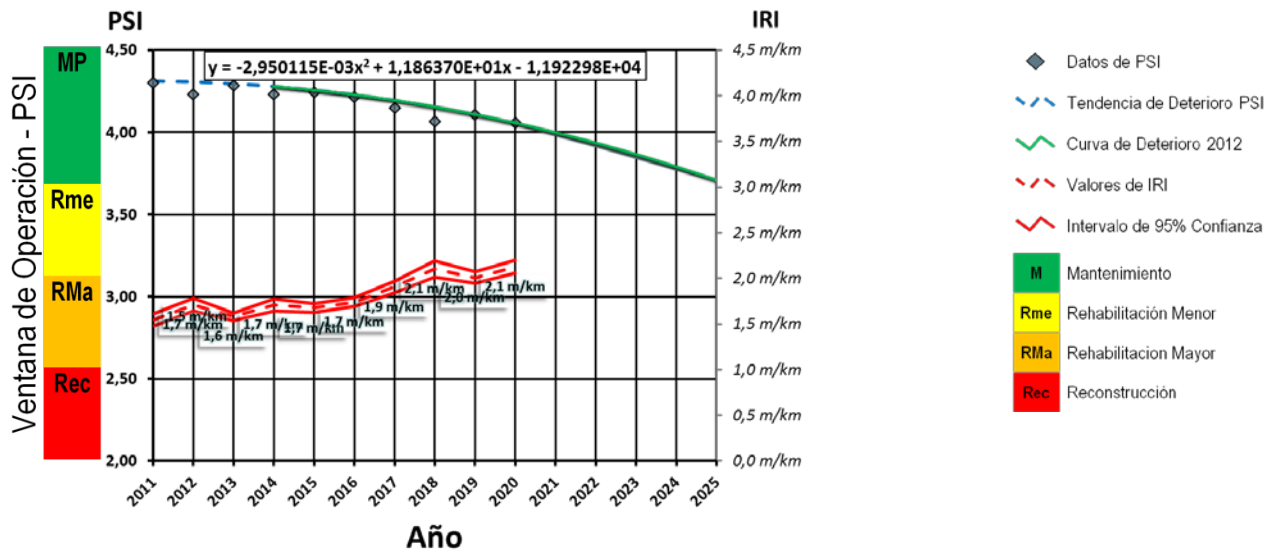
Datos								
Año	n	S (m/km)	Curtosis	IRI (m/km)	Intervalo 95% (m/km)	PSI	Nota Q	Estrategia Recomendada
2011	107	0,45	0,92	1,32	0,08	4,40	Q2	ChS3(TS3)
2012	100	0,43	2,96	1,33	0,08	4,39	Q2	ChS3(TS3)
2013	105	0,72	22,07	1,41	0,14	4,36	Q1	ChS1(TS1)
2014	101	0,55	6,12	1,45	0,11	4,34	Q2	ChS3(TS3)
2015	96	0,40	-0,47	1,39	0,08	4,37	Q1	ChS1(TS1)
2016	100	0,47	1,25	1,45	0,09	4,34	0	0
2017	100	0,42	2,95	1,47	0,08	4,33	Q1	SS,ChS1(TS1)
2018	101	0,65	18,97	1,56	0,13	4,29	Q1	SS,ChS1(TS1)
2019	100	0,48	0,47	1,51	0,09	4,31	Q1	ChS2(TS2),ChS3(TS3),Slurry
2020	104	0,50	0,21	1,60	0,10	4,28	Q1	0

Ubicación		
Provincia	SAN JOSE	
Cantón	CIUDAD COLON	
03+605 A 14+025		



Modelo de Deterioro - PSI CR

Ruta:	Sección:	Red:	TPD 2013:	Longitud:	Pavimento:	Lastre:
27	3,1	Concesión	3000	37,70 km	100%	0%



Ecuación general	Tendencia	Curva de Deterioro 2016			Intervenciones
$Y = A \cdot (X_{año})^2 + B \cdot (X_{año}) + C$	R <sup>2</sup> :	A:	B:	C:	0
	0,9935	-2,9501150E-03	1,1863704E+01	-1,1922977E+04	

Datos								
Año	n	S (m/km)	Curtosis	IRI (m/km)	Intervalo 95% (m/km)	PSI	Nota Q	Estrategia Recomendada
2011	368	0,65	12,50	1,54	0,07	4,30	Q2	ChS3(TS3)
2012	362	0,69	12,00	1,71	0,07	4,23	Q2	ChS3(TS3)
2013	361	0,39	1,22	1,58	0,04	4,28	Q1	ChS1(TS1)
2014	362	0,63	10,68	1,71	0,06	4,23	Q2	ChS3(TS3)
2015	360	0,49	1,56	1,68	0,05	4,24	Q1	ChS1(TS1)
2016	357	0,44	0,24	1,74	0,05	4,22	0	0
2017	364	0,62	10,14	1,91	0,06	4,15	Q2	ChS3(TS3)
2018	365	0,87	8,59	2,10	0,09	4,07	Q2	ChS2(TS2),ChS3(TS3)
2019	368	0,63	7,62	2,01	0,06	4,11	Q2	ChS2(TS2),ChS3(TS3)
2020	377	0,68	7,95	2,13	0,07	4,06	Q2	0

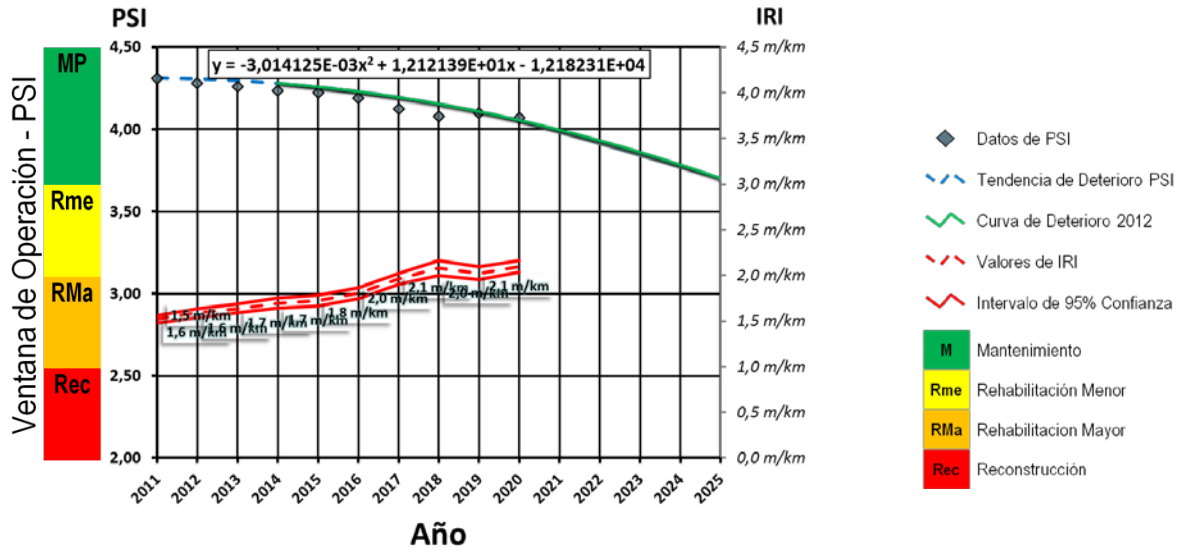
Ubicación		
Provincia	ALAJUELA	14+025 A 51+720
Cantón	VARIOS	





Modelo de Deterioro – PSI CR

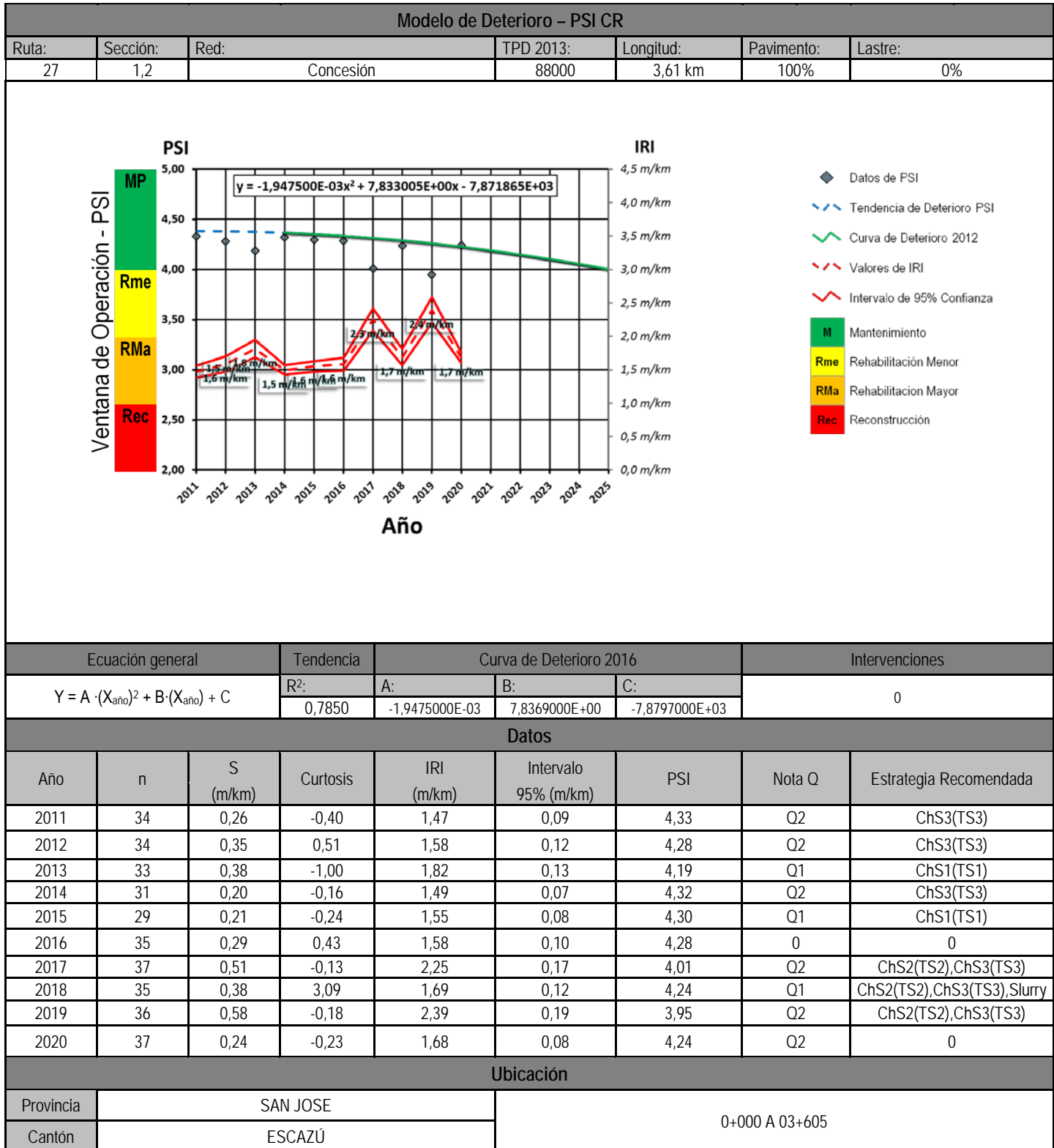
Ruta:	Sección:	Red:	TPD 2013:	Longitud:	Pavimento:	Lastre:
27	4,1	Concesión	15300	24,91 km	100%	0%



Ecuación general	Tendencia	Curva de Deterioro 2016			Intervenciones
$Y = A \cdot (X_{año})^2 + B \cdot (X_{año}) + C$	R <sup>2</sup> : 0,8712	A: -3,0141250E-03	B: 1,2121388E+01	C: -1,2182313E+04	0

Datos								
Año	n	S (m/km)	Curtosis	IRI (m/km)	Intervalo 95% (m/km)	PSI	Nota Q	Estrategia Recomendada
2011	243	0,34	0,79	1,52	0,04	4,31	Q2	ChS3(TS3)
2012	251	0,37	0,36	1,59	0,05	4,28	Q2	ChS3(TS3)
2013	242	0,38	0,50	1,64	0,05	4,26	Q1	ChS1(TS1)
2014	244	0,43	0,66	1,70	0,05	4,23	Q2	ChS3(TS3)
2015	243	0,46	0,50	1,72	0,06	4,22	Q1	ChS1(TS1)
2016	237	0,45	-0,33	1,81	0,06	4,19	0	0
2017	243	0,48	0,00	1,96	0,06	4,13	Q2	ChS3(TS3)
2018	241	0,62	2,20	2,08	0,08	4,08	Q2	ChS2(TS2),ChS3(TS3)
2019	248	0,58	0,41	2,02	0,07	4,10	Q2	ChS2(TS2),ChS3(TS3)
2020	249	0,51	0,67	2,10	0,06	4,07	Q2	0

Ubicación		
Provincia	ALAJUELA	51+720 A 76+310
Cantón	OROTINA	





Modelo de Deterioro - PSI CR								
Ruta:	Sección:	Red:	TPD 2013:	Longitud:	Pavimento:	Lastre:		
27	2,2	Concesión	16000	10,42 km	100%	0%		
					<p><b>Simbología</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>◆ Datos de PSI</li> <li>--- Tendencia de Deterioro PSI</li> <li>--- Curva de Deterioro 2012</li> <li>--- Valores de IRI</li> <li>--- Intervalo de 95% Confianza</li> <li>M Mantenimiento</li> <li>Rme Rehabilitación Menor</li> <li>RMa Rehabilitación Mayor</li> <li>Rec Reconstrucción</li> </ul>			
Ecuación general		Tendencia	Curva de Deterioro 2016			Intervenciones		
$Y = A \cdot (X_{\text{año}})^2 + B \cdot (X_{\text{año}}) + C$		$R^2:$	A:	B:	C:	0		
		0,9049	-1,6487420E-03	6,6303513E+00	-6,6615243E+03			
Datos								
Año	n	S (m/km)	Curtosis	IRI (m/km)	Intervalo 95% (m/km)	PSI	Nota Q	Estrategia Recomendada
2011	103	0,34	3,40	1,31	0,07	4,40	Q2	ChS3(TS3)
2012	104	0,37	0,44	1,36	0,07	4,38	Q2	ChS3(TS3)
2013	100	0,45	0,17	1,83	0,09	4,18	Q1	ChS1(TS1)
2014	105	0,34	-0,15	1,35	0,06	4,38	Q2	ChS3(TS3)
2015	95	0,29	-0,18	1,33	0,06	4,39	Q1	ChS1(TS1)
2016	100	0,45	5,37	1,41	0,09	4,35	0	0
2017	103	0,51	4,00	2,09	0,10	4,07	Q2	SS,ChS1(TS1)
2018	102	0,58	13,11	1,58	0,11	4,28	Q1	TS2),ChS3(TS3)
2019	103	0,46	-0,16	2,15	0,09	4,05	Q2	S2(TS2),ChS3(T
2020	104	0,43	-0,49	1,61	0,08	4,27	Q2	0
Ubicación								
Provincia	SAN JOSE			03+605 A 14+025				
Cantón	CIUDAD COLON							



Modelo de Deterioro - PSI CR								
Ruta:	Sección:	Red:	TPD 2013:	Longitud:	Pavimento:	Lastre:		
27	3,2	Concesión	3000	37,70 km	100%	0%		
					<p><b>Simbología</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>◆ Datos de PSI</li> <li>--- Tendencia de Deterioro PSI</li> <li>--- Curva de Deterioro 2012</li> <li>--- Valores de IRI</li> <li>--- Intervalo de 95% Confianza</li> </ul> <p><b>Mantenimiento</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>M Mantenimiento</li> <li>Rme Rehabilitación Menor</li> <li>RMa Rehabilitación Mayor</li> <li>Rec Reconstrucción</li> </ul>			
Ecuación general		Tendencia	Curva de Deterioro 2016			Intervenciones		
$Y = A \cdot (X_{\text{año}})^2 + B \cdot (X_{\text{año}}) + C$		R <sup>2</sup> :	A:	B:	C:	0		
0,9110		-1,415900E-03	5,6823000E+00	-5,6968000E+03				
Datos								
Año	n	S (m/km)	Curtosis	IRI (m/km)	Intervalo 95% (m/km)	PSI	Nota Q	Estrategia Recomendada
2011	374	0,65	14,47	1,52	0,07	4,31	Q2	ChS3(TS3)
2012	375	0,69	7,34	1,77	0,07	4,20	Q2	ChS3(TS3)
2013	374	0,53	11,29	1,69	0,05	4,24	Q1	ChS1(TS1)
2014	366	0,44	1,35	1,64	0,05	4,26	Q2	ChS3(TS3)
2015	355	0,45	1,10	1,66	0,05	4,25	Q1	ChS1(TS1)
2016	355	0,44	-0,19	1,74	0,05	4,22	0	0
2017	365	0,48	1,36	1,81	0,05	4,19	Q2	SS,ChS1(TS1)
2018	364	0,85	7,41	2,10	0,09	4,07	Q3	S2(TS2),ChS3(T)
2019	372	0,61	7,24	1,93	0,06	4,14	Q2	S2(TS2),ChS3(T)
2020	376	0,74	4,90	2,18	0,07	4,04	Q2	0
Ubicación								
Provincia	ALAJUELA			14+025 A 51+720				
Cantón	VARIOS							





Modelo de Deterioro - PSI CR								
Ruta:	Sección:	Red:	TPD 2013:	Longitud:	Pavimento:	Lastre:		
27	4,2	Concesión	15300	24,91 km	100%	0%		
<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 60%;"> <p><b>PSI</b> <math>y = -5,533400E-04x^2 + 2,208000E+00x - 2,198200E+03</math></p> <p><b>IRI</b></p> </div> <div style="width: 35%;"> <p><b>Simbología</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>◆ Datos de PSI</li> <li>--- Tendencia de Deterioro PSI</li> <li>--- Curva de Deterioro 2012</li> <li>--- Valores de IRI</li> <li>--- Intervalo de 95% Confianza</li> </ul> <p><b>M</b> Mantenimiento  <b>Rme</b> Rehabilitación Menor  <b>RMa</b> Rehabilitación Mayor  <b>Rec</b> Reconstrucción</p> </div> </div>								
Ecuación general		Tendencia	Curva de Deterioro 2016			Intervenciones		
$Y = A \cdot (X_{año})^2 + B \cdot (X_{año}) + C$		$R^2:$	A:	B:	C:	0		
		0,7190	-5,533400E-04	2,208000E+00	-2,198200E+03			
Datos								
Año	n	S (m/km)	Curtosis	IRI (m/km)	Intervalo 95% (m/km)	PSI	Nota Q	Estrategia Recomendada
2011	244	0,39	2,03	1,64	0,05	4,26	Q2	ChS3(TS3)
2012	243	0,40	0,78	1,74	0,05	4,22	Q2	ChS3(TS3)
2013	236	0,48	1,88	1,53	0,06	4,30	Q1	ChS1(TS1)
2014	245	0,45	0,12	1,84	0,06	4,18	Q2	ChS3(TS3)
2015	244	0,51	-0,50	1,89	0,06	4,15	Q1	ChS1(TS1)
2016	244	0,51	0,18	1,92	0,06	4,14	0	0
2017	235	0,44	-0,21	1,68	0,06	4,24	Q1	TS2),ChS3(TS3)
2018	244	0,57	6,21	2,07	0,07	4,08	Q2	S2(TS2),ChS3(T
2019	246	0,54	0,20	1,78	0,07	4,20	Q2	S2(TS2),ChS3(T
2020	245	0,43	-0,28	2,10	0,05	4,07	Q2	0
Ubicación								
Provincia	ALAJUELA			51+720 A 76+310				
Cantón	OROTINA							